

## TROISIÈME PARTIE

### LE GRAISSAGE

---

#### CHAPITRE I

## LUBRIFICATION ET LUBRIFIANTS

**But du graissage.** — Le graissage a pour but :

1<sup>o</sup>) de prolonger la durée de service des organes en mouvement en réduisant leur usure,

2<sup>o</sup> d'augmenter le rendement des machines en diminuant le frottement des pièces soumises à des mouvements de glissement alternatifs, à des mouvements continus rotatifs ou à des mouvements oscillants,

3<sup>o</sup>) d'éviter le danger de grippement des pièces mobiles,

4<sup>o</sup>) de réduire au minimum l'échauffement des pièces en contact,

5<sup>o</sup>) de favoriser la dissipation par rayonnement de la chaleur apportée par le frottement que l'on ne peut pratiquement supprimer complètement. La chaleur se dissipe à travers la couche d'huile vers les surfaces portantes métalliques.

La lubrification doit être étudiée d'un double point de vue :

1<sup>o</sup>) celui du choix du lubrifiant le mieux approprié au cas particulier du graissage envisagé ;

2<sup>o</sup>) celui du choix du dispositif ou de l'appareil de graissage.

#### I. — CHOIX DU LUBRIFIANT

**1. Théorie de la lubrification.** — Pour réduire au minimum le frottement entre les organes en mouvement, on interpose entre les surfaces métalliques une mince couche d'huile. On tend à remplacer ainsi le frottement *direct* des métaux entre

eux par un frottement qui, dans le cas du graissage parfait, se produit uniquement au sein même de la couche d'huile interposée.

### Lois du frottement.

a) *Frottement sec.* — En l'absence de tout graissage, il y a frottement direct des métaux l'un sur l'autre, c'est un frottement *sec*. Il donne lieu à une forte usure et il y a danger de grippement au cours duquel les deux surfaces métalliques mordent l'une sur l'autre.

Nous avons vu, page 66, que le coefficient de frottement dans deux cas, cités à titre d'exemple, variait de 0,12 à 0,35.

b) *Frottement fluide (ou hydrodynamique).* — *Lorsque le graissage est parfait*, la couche d'huile, quoique très mince, n'est à aucun endroit interrompue et sépare d'une manière permanente les surfaces métalliques sur toute leur étendue. Il s'ensuit que l'usure de ces surfaces est extrêmement faible ; théoriquement, elle est nulle.

Dans le cas du graissage parfait, le frottement interne au sein du lubrifiant lui-même n'est plus produit que par la résistance au déplacement des molécules fluides l'une sur l'autre, d'où son nom de *frottement fluide*.

La pellicule d'huile qui sépare les surfaces métalliques, constitue ce qu'il est convenu d'appeler *le film d'huile*.

En régime fluide, une très mince pellicule d'huile adhère au palier et reste fixe, une couche d'huile adhère de même à l'arbre et tourne avec lui ; entre les deux, les couches intermédiaires glissent les unes sur les autres comme des feuillets.

c) *Frottement demi-sec ou onctueux.* — Si la viscosité de l'huile est insuffisante ou si la fluidité de l'huile est excessive, le film d'huile, devenant trop mince, se rompt par endroits ou même est complètement expulsé et le graissage devient incomplet, le frottement, au lieu d'être fluide, est un *frottement demi-sec*.

Les surfaces frottantes sont par endroits en contact direct l'une avec l'autre, d'où commencement d'usure. C'est pourquoi, en régime onctueux, la question du rodage est capitale.

Remarquons que le frottement *demi-sec* ou *onctueux* peut se produire avec une lubrification suffisante si la forme donnée aux surfaces frottantes est défectueuse.

*En régime fluide*, le frottement est influencé à la fois par la viscosité de l'huile, par la vitesse relative des organes en mouvement et par la pression qui s'exerce entre les surfaces frottantes. L'expérience montre que l'influence *globale* de ces trois facteurs peut se traduire en une expression telle que :

$$\frac{\text{viscosité} \times \text{vitesse}}{\text{pression}} \quad (\text{A})$$

Si nous voulons exprimer graphiquement comment varie le coefficient de frottement, compte tenu de cette triple influence,

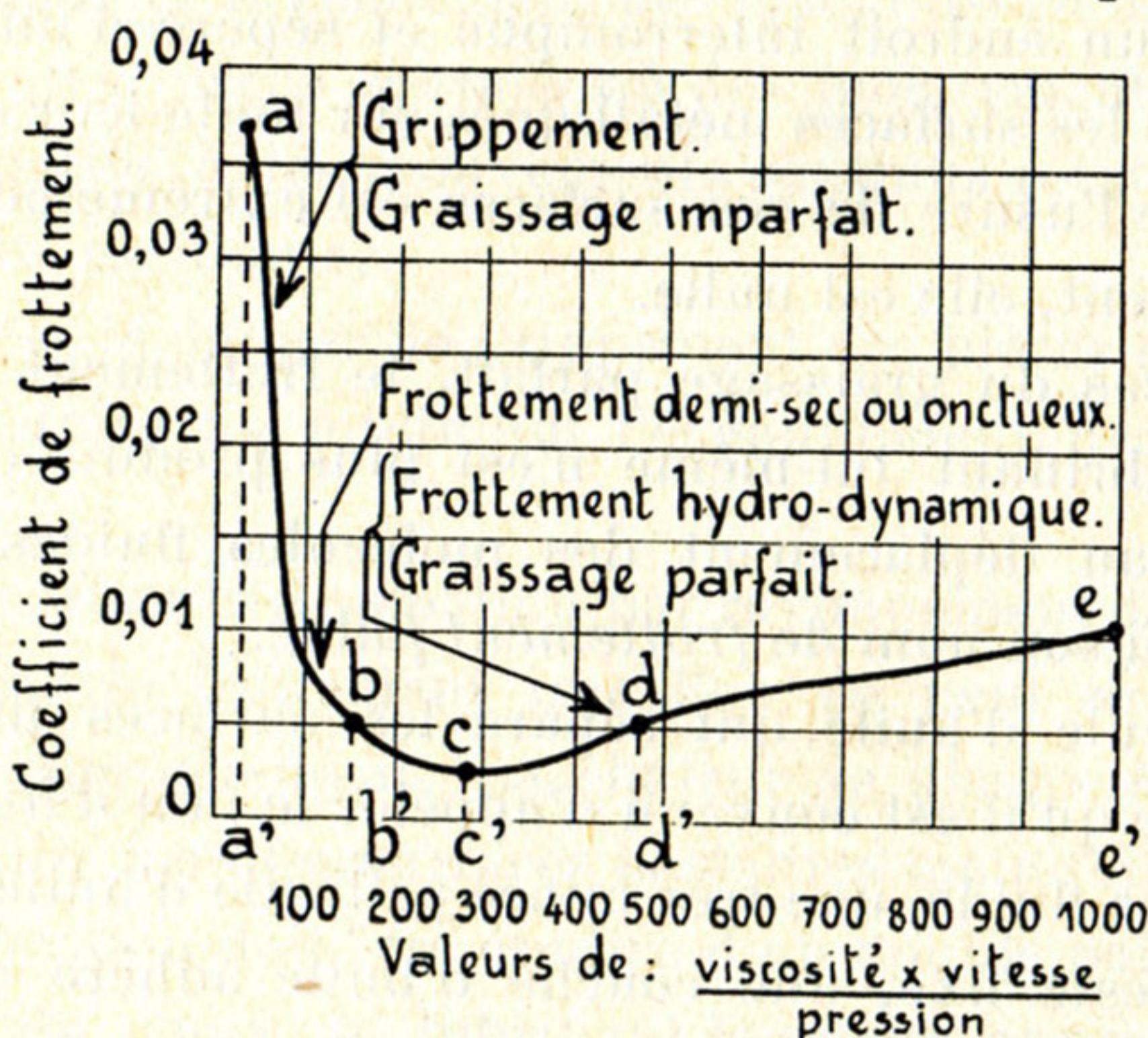


Fig. 528. — Courbe du coefficient de frottement dans le cas d'un coussinet en *métal blanc* de 137 mm de longueur.

nous porterons horizontalement (fig. 528) les valeurs successivement croissantes du terme  $\frac{\text{viscosité} \times \text{vitesse}}{\text{pression}}$  et, verticalement, le coefficient de frottement qui correspond à ces valeurs. Nous obtiendrons une courbe de la forme *a b c d e* (fig. 528 et 529).

La courbe de la figure 528 est relative à un coussinet en métal *blanc* de 137 mm de long ; la courbe de la figure 529 se rapporte à un coussinet en *bronze* de 230 mm de long (\*).

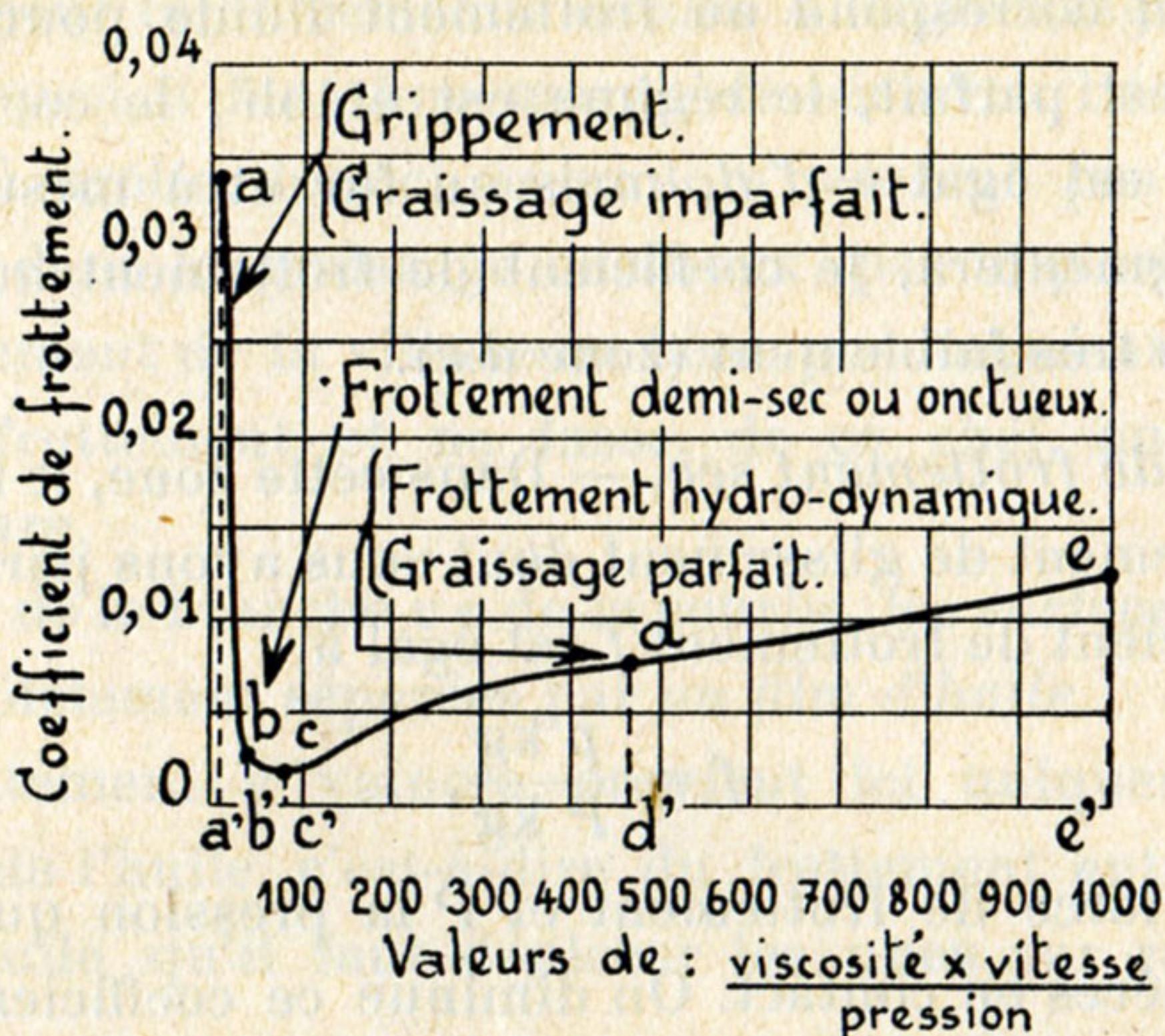


Fig. 529. — Courbe du coefficient de frottement dans le cas d'un coussinet en *bronze* de 230 mm de longueur.

A la mise en mouvement (zone  $o\ a'$ ), l'expérience montre que le coefficient de frottement est très élevé et égal, par exemple, à  $a'\ a$ .

L'on se rend compte de la grandeur du frottement au départ lorsque l'on tourne un volant calé sur un arbre de transmission tournant entre deux paliers. Au début du mouvement, l'effort à déployer est tel que l'on doit saisir le volant des deux mains. Après un ou deux tours, la manœuvre du volant devient déjà plus aisée, le frottement diminuant. Après quelques tours, le frottement s'établit à sa valeur de régime et le volant se manœuvre presque sans effort.

Repronons la courbe  $a\ b\ c\ d\ e$  et voyons ce qui s'est passé.

La zone  $a$  correspond au frottement sec ;

la zone  $b$  au frottement onctueux ou demi-sec ; ici, la valeur moyenne du coefficient de frottement ( $b'\ b$  par exemple) est

(\*) *Chimie des matériaux techniques*, BATTÀ, Professeur à l'Université de Liège, 1946.

*Etude d'un régime de lubrification : le frottement onctueux des paliers lisses*, L. LELOUP. *Revue Universelle des Mines*, 1947.

déjà fortement réduite, tout en restant élevée. L'usure du coussinet est sensible et il y a danger de grippement du coussinet.

la zone *d* correspond au frottement fluide pour lequel le graissage est parfait, le régime est établi ; le coefficient de frottement est égal à  $d'd$ , mais au fur et à mesure que la vitesse augmentera, le coefficient de frottement augmentera aussi, mais très faiblement (zone *d e*).

1) *Zone de frottement sec.* — Dans cette zone, le frottement est le frottement de glissement dont nous avons parlé page 66 et le coefficient de frottement  $f$  est égal à

$$f = \frac{p \text{ kg}}{P \text{ kg}},$$

$p$  étant la force de frottement et  $P$  la pression qui s'exerce entre les pièces en contact. On diminue ce coefficient de frottement en choisissant les meilleurs alliages antifriction et en usinant parfaitement leur surface.

Il est inévitable que, dans cette zone, de petites particules de métal superficiel soient arrachées aux surfaces en mouvement, ce qui provoque *l'usure* d'abord et ensuite *le grippement*.

2) *Zone de frottement onctueux.* — Dans cette zone *b*, ce qui détermine la valeur du coefficient de frottement, c'est d'une part et essentiellement, la viscosité de l'huile et, d'autre part, son *onctuosité*, c'est-à-dire l'énergie plus ou moins grande avec laquelle les molécules de la *dernière* couche d'huile adhèrent ou s'agrippent aux surfaces à graisser.

L'onctuosité varie avec la composition chimique du lubrifiant et notamment avec l'orientation que peuvent prendre certains groupements moléculaires vis-à-vis des surfaces à graisser.

3) *Zone de frottement fluide ou de frottement hydro-dynamique.* — C'est la zone *c e* du graissage parfait.

La valeur *minimum* du coefficient de frottement (*c'c*) dépend de la forme des pièces en contact, de leur usinage plus ou moins parfait et de la nature du métal utilisé.

Lorsque le régime de température du palier est établi, le coefficient de frottement est plus élevé que le coefficient minimum  $c c'$ . Si le régime s'établissait en  $c c'$ , il suffirait de peu de chose pour retomber dans la zone  $b$  du graissage onctueux, c'est pourquoi il faut une marge de sécurité. Le régime doit s'établir à droite de  $c c'$ , assez loin pour ne pas risquer de retomber dans le graissage onctueux, pas trop loin pour que l'accroissement de la vitesse ne fasse pas augmenter le coefficient de frottement et ne fasse, de ce chef, augmenter la température.

Le long de la branche  $c e$  de la courbe, les surfaces frottantes sont complètement séparées par *un film d'huile*.

Le frottement à vaincre provient ici uniquement de la viscosité de l'huile, c'est-à-dire du frottement entre les molécules d'huile qu'il faut déplacer les unes par rapport aux autres.

La force nécessaire pour vaincre cette résistance interne augmente avec la viscosité des huiles.

Dans cette zone  $c e$ , l'onctuosité de l'huile, sa composition chimique, la nature des surfaces frottantes n'exercent aucune influence sur la valeur du coefficient de frottement.

Enfin, puisque, grâce à la présence du film continu d'huile, les pièces en mouvement ne se touchent jamais, l'usure de celles-ci est, théoriquement, nulle.

Pour donner une idée de la faible valeur du coefficient de frottement *en régime hydrodynamique*, disons qu'avec une huile de machine ordinaire employée au graissage d'un palier dans les conditions suivantes :

pression par unité de surface =  $5 \text{ kg/cm}^2$ ,  
 vitesse = 240 tours/min.,  
 température de l'air ambiant =  $28^\circ \text{ C}$ ,  
 on a trouvé :

$$f = 0,005 \text{ à } 0,006 \text{ (*)}$$

---

(\*) *Revue Universelle des Mines*. — Etude du frottement en régime hydrodynamique et en régime onctueux. — Ch. HANOCQ, Professeur à l'Université de Liège, 1943.

L'examen de la courbe *abcde* (fig. 528) et de la formule (A) (page 428) permet de tirer quelques *conclusions quant à la viscosité* :

1°) Puisque la viscosité est caractérisée par le frottement interne de l'huile, une huile trop visqueuse accroît inutilement le travail de frottement.

2°) Une huile trop fluide (insuffisamment visqueuse) ne résiste pas aux pressions qu'elle subit, le film d'huile se rompt et le graissage devient onctueux ou même sec.

3°) Il faut choisir la viscosité du lubrifiant de manière que le coefficient de frottement se situe à droite du point *c* mais sans exagération.

4°) Une température anormalement élevée des pièces en mouvement peut être due :

*a)* à une viscosité exagérée du film d'huile, le travail de frottement interne développant de la chaleur ;

*b)* à une viscosité insuffisante du film qui se rompt par endroits, le travail du frottement sec à ces endroits dégage plus de chaleur.

5°) La température des films d'huile varie toujours en service selon *les fluctuations de la température ambiante*.

Or, la viscosité de tout lubrifiant *diminue* lorsque la température s'élève, mais pas dans la même mesure pour les différentes huiles.

*Un lubrifiant doit posséder la viscosité adéquate à la température de régime et il faut que cette viscosité soit, le moins possible, sujette à varier selon les fluctuations de la température ambiante ou celle des organes lubrifiés.*

La modification de la viscosité avec la température a conduit à introduire la notion de l'« *indice de viscosité* ».

En pratique, par convention, certaines huiles du Texas et de Californie ont l'indice de viscosité : *zéro*, tandis que les meilleures huiles de Pennsylvanie ont l'indice *100*.

#### Qualités techniques requises d'un lubrifiant.

1°) Une bonne *onctuosité*. L'onctuosité, c'est la propriété d'adhérer aux surfaces à graisser en formant une pellicule résistante.

L'ajoute de certains corps pro-onctueux améliore sensiblement les huiles à cet égard.

2°) Une viscosité appropriée au graissage envisagé.

Cette viscosité doit varier aussi faiblement que possible avec la température.

*A charge unitaire égale*, la viscosité peut être moindre lorsque la vitesse des organes à graisser est plus élevée.

*A vitesse égale*, la viscosité doit croître avec la pression par unité de surface supportée par les organes en mouvement.

3°) *Corrosivité nulle*. — L'huile ne peut être acide. Une huile acide attaquerait plus ou moins rapidement les métaux anti-friction.

A l'heure présente, on ajoute aux huiles des produits supprimant la corrosion.

4°) *Stabilité suffisante en cours du service*. — L'huile ne doit pas perdre ses qualités au cours de son service.

Par exemple, l'huile de graissage destinée au graissage des fusées d'essieux des wagons, voitures et locomotives, ne peut s'acidifier en cours de service.

Elle ne peut non plus s'oxyder ni donner naissance, par transformation interne, à des composés résineux ou asphaltiques toujours nuisibles.

Enfin, par les grands froids, cette huile ne peut se figer, sinon le graissage serait interrompu.

5°) *Capillarité*. — Là où le graissage des *boîtes à huile* s'effectue au packing ou au moyen de tampons graisseurs à mèches de laine, il convient que l'huile possède les qualités requises pour pouvoir s'élever par capillarité dans les mèches de laine ou dans le packing, composé lui-même de laine, de crin et de coton.

C'est pourquoi toutes les huiles doivent être soumises à un *essai de siphonage* au travers de mèches de laine.

Pour qu'une huile s'élève bien par capillarité, elle doit être exempte d'eau, d'asphalte, de paraffines, de résines du pétrole et de matières étrangères.

## 2. — LES LUBRIFIANTS

Actuellement, comme lubrifiants, les chemins de fer belges utilisent des *huiles minérales* extraites du pétrole brut et des *graisses consistantes*.

L'usage des *huiles végétales* (huile de colza) et *animales* (suif, huile de lard, huile de pied de bœuf) est pratiquement abandonné.

La matière première des huiles de graissage est le pétrole brut.

### Pétrole brut.

*Gisement.* — Le pétrole brut est particulièrement abondant aux Etats-Unis, au Vénézuela, en Russie, en Roumanie, en Irak et en Iran.

*Propriétés physiques.* — Le pétrole brut est un liquide de composition et d'aspect variables.

Sa couleur varie de l'ambre clair au noir. Le plus souvent, il est brun-verdâtre et toujours fluorescent par réflexion.

Son odeur désagréable est due à la présence de composés sulfurés.

Sa densité est comprise entre 0,820 et 0,970, elle est en relation avec sa composition chimique et avec sa viscosité.

*Composition chimique des pétroles bruts.* — Les pétroles bruts sont des combinaisons de carbone et d'hydrogène, connues sous le nom d'« *hydrocarbures* ».

Un même pétrole brut est composé de plusieurs espèces d'hydrocarbures :

1) des hydrocarbures *paraffiniques*, riches en paraffine et pauvres en asphalte. Ce sont les pétroles bruts de la meilleure qualité (Pennsylvanie).

2) des hydrocarbures *naphténiques*, pauvres en paraffine (Bakou).

3) des hydrocarbures *aromatiques* en quantités moindres que les précédents. On les rencontre en grande quantité cependant dans les pétroles bruts de Bornéo.

A côté des hydrocarbures, tout pétrole brut contient, en proportions variables, mais généralement faibles, des *résines*, des *asphaltenes*, des *acides naphténiques*.

Une haute teneur en *asphalte* caractérise les pétroles bruts en provenance de Californie, du Texas, du Mexique. Aussi les dénomme-t-on souvent « *bruts asphaltiques* ».

*Traitemen*t du pétrole brut. — Lorsque nous avons examiné, page 57, le chauffage à l'huile lourde, nous avons déjà énuméré les produits principaux que l'on extrait du pétrole brut par la distillation fractionnée : essences, huiles d'éclairage, gaz oil, fuel oil. Nous nous sommes arrêtés au fuel oil, parce que, à ce moment, nous n'envisagions que les huiles devant servir de *combustible*.

Les bruts servant à la préparation des huiles combustibles n'ont pas les qualités requises pour la fabrication des lubrifiants : ils sont, généralement, trop asphaltiques ou trop instables. Lorsque le brut est de bonne qualité, c'est-à-dire pauvre en asphalte et qu'il renferme des hydrocarbures stables adéquats, la distillation donne *après le gas oil*, des huiles spindle ou huiles à broches (métiers à tisser), puis des huiles pour moteurs et le résidu de distillation est la matière première pour la fabrication des cylindrines.

### 3. — Huiles de graissage pour locomotives.

Les lubrifiants industriels appartiennent aux cinq classes suivantes :

- A. — Huiles minérales extraites du pétrole brut.
- B. — Graisses consistantes.
- C. — Huiles végétales.
- D. — Huiles minérales extraites du goudron de houille.
- E. — Huiles et graisses animales.

Pour le graissage des locomotives, l'on n'utilise plus que deux sortes de lubrifiants :

- a) *l'huile minérale* pour le graissage des pièces du mécanisme et pour les fusées d'essieux ;

b) *l'huile cylindrine* pour le graissage des distributeurs et des cylindres à vapeur.

Selon le cas, l'on utilise des huiles cylindrines à vapeur saturée, des huiles cylindrines à surchauffe moyenne (jusque 350° C), des huiles cylindrines à haute surchauffe (au-delà de 350° C).

#### A. — Huiles minérales extraites du pétrole brut.

a) *Huiles minérales de graissage pour les pièces du mouvement et pour les fusées d'essieux.* — On utilise une huile minérale pure extraite de pétroles bruts pauvres en asphaltenes, mais qui ne se prêtent pas à la fabrication d'huiles pour moteurs et de cylindrines, tout en étant de trop bonne qualité pour servir d'huile combustible (fuel oil).

Ces huiles doivent présenter les caractéristiques suivantes :

1) *Asphalte dur.* — L'huile doit être sensiblement exempte d'asphalte dur. En effet, l'asphalte a des propriétés opposées à celles d'un lubrifiant. Il diminue rapidement la capillarité des fibres de laine des tampons graisseurs ou du packing.

2) *Eau.* — L'huile ne peut contenir d'eau, car les fibres s'imbibent plus facilement d'eau que d'huile. Une fois que le packing ou les mèches sont imbibés d'eau, l'huile ne passe plus et pratiquement, le graissage est supprimé.

Beaucoup d'incidents de graissage sont dûs à l'introduction accidentelle d'eau dans des boîtes à huile non étanches.

3) *Congélation.* — L'huile ne doit pas se figer aux plus basses températures hivernales.

L'huile doit encore couler à 15° sous zéro.

Lorsque l'huile est figée au moment du démarrage, il se produit une usure anormale des métaux antifriction ; en outre, l'effort au démarrage est augmenté. Le graissage ne reprend alors normalement que, lorsque, par suite de la hausse de la température provoquée par le mouvement, l'huile redevient suffisamment fluide pour pouvoir s'élever par capillarité dans les mèches en laine ou dans le packing.

4) *Viscosité.* — Les huiles actuellement utilisées ont une viscosité de  $10^{\circ}$  *Engler* à la température de  $50^{\circ}$  C.

A viscosité égale à  $50^{\circ}$  C, on donne la préférence à l'huile qui possède la meilleure courbe de viscosité, c'est-à-dire à l'huile qui est la plus fluide à froid et la plus visqueuse à chaud.

La résistance à vaincre pour démarrer un train est sensiblement moindre avec une huile fluide à froid qu'avec une huile visqueuse et, naturellement, qu'avec une huile figée par le froid.

La viscosité à adopter dépend d'abord de la charge supportée par unité de surface et, ensuite, de la température de régime de la boîte à huile.

Plus la viscosité est élevée, plus grande est la résistance au déplacement des feuillets du film d'huile.

Si la viscosité est trop faible, le film d'huile se rompt, l'huile étant expulsée d'entre les surfaces frottantes par suite de la charge appliquée.

5) *Pouvoir mouillant.* — L'huile doit posséder, outre la viscosité requise, l'aptitude à *s'étendre rapidement et uniformément* entre les surfaces à graisser. Cette propriété dépend du pouvoir mouillant de l'huile.

La tendance au mouillage est en quelque sorte la caractéristique inverse de l'onctuosité.

6) *Adhérence.* — L'huile destinée au graissage des mécanismes et, en particulier, des *têtes de bielles*, doit posséder la propriété *d'adhérer* aux surfaces lubrifiées afin de résister à la *pression* exercée et à la *force centrifuge* qui, aux grandes vitesses, tend à projeter l'huile par la tangente.

C'est pour accroître cette qualité d'adhérence qu'on ajoute parfois aux huiles des *produits spéciaux* (stéarates métalliques) qui renforcent la résistance à la force centrifuge et conduisent ainsi à de sérieuses économies de lubrifiant.

7. *Pureté.* — L'huile de graissage doit être *neutre*, c'est-à-dire ni acide, ni basique. Elle ne doit pas contenir de matières

en suspension ou en solution et, surtout, pas de matières abrasives.

8) *Point d'inflammabilité* ou « *point éclair* ». — Le point d'inflammabilité de l'huile doit être suffisamment élevé pour éviter l'inflammation spontanée de l'huile en cours du service, principalement, lors de la tendance à un chauffage.

b) *Huiles cylindrines pour le graissage des distributeurs et des cylindres à vapeur.*

1) *Propriétés communes aux cylindrines.* — Le graissage des distributeurs et des cylindres à vapeur pose un problème tout différent de celui des fusées d'essieux et des paliers en général. En effet, ici, les organes à graisser sont exposés aux températures élevées de la vapeur. En outre, les organes graissés ne sont pas accessibles journellement, il s'ensuit que le contrôle de l'efficacité du graissage est rendu plus difficile.

L'huile doit encore résister à l'effort d'arrachement exercé par la vapeur circulant à très grande vitesse.

Enfin, l'huile doit assurer le graissage interne des distributeurs, des cylindres et aussi, partiellement, celui des tiges des pistons. En outre, elle doit assurer l'étanchéité des pistons et des distributeurs, empêchant ainsi les fuites de vapeur.

En mouvement rotatif *continu*, il est possible de réaliser le graissage du type « *fluide* » ou « *parfait* », mais ici, il s'agit de pièces de mécanisme animées de mouvement de *va-et-vient*, la vitesse devient nulle à chaque extrémité de course et dès lors l'expression (A) 
$$\left( \frac{\text{viscosité} \times \text{vitesse}}{\text{pression}} \right)$$
 de la page 428 devient nulle également en ces points.

Tout ce qu'il sera possible de faire, c'est de réaliser un frottement du type « *onctueux* ».

*Conclusion.* — Il devient impossible d'éviter l'usure des cylindres et des segments d'étanchéité. Ce que l'on pourra faire, c'est de réduire au strict minimum la rapidité avec laquelle cette usure se produit en utilisant une huile aussi onctueuse que possible.

C'est pour ce motif qu'aux huiles cylindrines pour vapeur saturée et pour vapeur surchauffée à moins de 350°, on ajoute toujours 2 à 6 % d'huiles animales (huile de pied de bœuf, huile de lard neutre, etc.). On dit alors que ces huiles sont « compoundées » par des huiles animales.

Une huile non compoundée, c'est-à-dire purement minérale, serait plus facilement délavée des parois par l'eau de condensation de la vapeur.

2) *Provenance de l'huile.* — Les bonnes huiles pour cylindres sont, en général, des huiles de Pennsylvanie (huiles du type paraffinique), exemptes de matières asphaltiques.

Après avoir, par distillation fractionnée, retiré de l'huile brute les produits légers (naphte, essence, pétrole, gas-oil, huiles de graissage légères et épaisses), on traite le résidu de la manière suivante.

*On injecte de la vapeur surchauffée dans la colonne de distillation.*

Il s'ensuit que les constituants les plus volatiles, demeurés dans l'huile, sont entraînés par le courant de vapeur surchauffée. C'est en réglant judicieusement la température de la vapeur injectée, ainsi que la quantité de celle-ci, que l'on arrive à produire des cylindrines présentant des viscosités et des « points éclair » appropriés à l'utilisation future.

*Cylindrines filtrées.* — Dans un second procédé, le résidu de distillation est dilué avec du pétrole et la solution ainsi obtenue est refroidie pendant plusieurs jours à une température variant de cinq à quinze degrés sous zéro, selon la qualité désirée.

La vaseline brute se dépose au cours de ce refroidissement. La couche surnageante est filtrée sur une terre spéciale qui retient les composés instables de l'huile. Le pétrole de dilution est alors séparé par distillation et il rentre dans le cycle.

Ce sont les constituants instables ainsi éliminés qui, par décomposition ou cracking, donneraient ces produits gommeux qui calent les cercles de piston et encrassent les cylindres et les distributeurs.

On applique, enfin, au résidu le « raffinage à la vapeur » jusqu'à obtention de la qualité désirée.

Les cylindrines, ainsi préparées, sont dites « filtrées ». Elles coûtent plus cher que les autres par suite du traitement subi.

3) *Choix de l'huile de graissage.* — Le choix de l'huile doit être fait en tenant compte :

a) des caractéristiques de la vapeur,

b) des caractéristiques mécaniques de la locomotive.

a) *Caractéristiques de la vapeur.* — Plus la température de la vapeur est élevée, plus l'huile doit être visqueuse et stable.

Si la vapeur est humide (cas des locomotives à vapeur saturée), il faut « compoudre » l'huile avec des graisses animales stables. Celles-ci donnent avec l'eau un film d'huile émulsionnée tenace et adhérent, qui résiste bien à l'effet d'arrachement du jet violent de vapeur et au délavage dû à l'eau de primage ou de condensation.

Si la température de la vapeur surchauffée est très élevée ( $350^{\circ}$  C et plus), il faut choisir une huile résistant bien aux hautes températures. L'huile choisie doit pouvoir s'atomiser (se pulvériser) facilement.

b) *Caractéristiques mécaniques de la locomotive.* — Entrent en ligne de compte pour fixer le choix de la cylindrine :

a) le poids des organes mobiles,

b) la vitesse maximum de la vapeur,

c) la puissance développée par la locomotive.

a) Plus le poids des pièces mobiles est élevé, plus élevée doit être la viscosité de l'huile.

b) Plus la vitesse de la vapeur est grande, plus l'huile doit pouvoir s'atomiser facilement et complètement, plus son pouvoir mouillant doit être grand, c'est-à-dire plus l'huile doit pouvoir s'étendre entièrement et rapidement sur les surfaces à graisser.

c) Lorsqu'une locomotive ne développe que 50 %, par exemple, de sa puissance, le volume de vapeur qui passe par les distributeurs et les cylindres devient insuffisant pour atomiser et distribuer correctement le lubrifiant. Il est alors

nécessaire d'utiliser une huile plus fluide et, partant, plus aisément pulvérisable.

4) *Utilisation correcte de l'huile cylindrine.* — Il suit, de tout ce qui précède, qu'une huile pour cylindres doit être appropriée au service qui lui est demandé. Pratiquement, à la S. N. C. B., on limite l'emploi à trois sortes de cylindrines :

1. la cylindrine à vapeur saturée,
2. la cylindrine à moyenne surchauffe (jusque 350° C),
3. la cylindrine à haute surchauffe (350° C et plus).

Une huile *trop épaisse* se pulvérise mal et ne se répand pas rapidement et uniformément sur les parois à graisser.

Une huile *trop fluide* se laisse expulser et souvent même se volatilise sans graisser.

Si la cylindrine contient *trop d'huile animale*, il y a formation de cambouis et gommage des segments.

S'il y a *manque d'huile animale* et si la vapeur devient humide, le film d'huile est délavé et il y a absence de graissage.

Il convient de *ne jamais graisser trop abondamment*, car le graissage exagéré conduit à la formation de cambouis.

D'autre part, s'il y a *manque d'huile*, le film d'huile ne recouvre pas l'entièreté des surfaces en contact et il y a usure prématuée de celles-ci.

5) *Marche à modérateur fermé.* — En général, les conditions de marche les plus dures pour les cylindrines correspondent au fonctionnement de la locomotive à modérateur fermé.

Nous avons exposé (pages 288 à 302) les précautions que l'on prend alors (by-pass, reniflards, injection de vapeur) pour éviter que les pistons aspirent par l'échappement des gaz de la boîte à fumée. Or, la température de ces gaz peut atteindre 400° (page 60) et même davantage. A ces températures, ces gaz contiennent de l'oxygène en assez grande quantité ( $\pm 10\%$ ). Dès lors, aucune huile, quelle qu'en soit la qualité, ne pourrait résister à une telle oxydation et la carbonisation de l'huile est inévitable.

C'est ainsi que se justifie une *injection de vapeur saturée dans la tuyère d'échappement*, dès que le modérateur est fermé.

De cette manière, c'est de la vapeur saturée à environ 200° (voir tableau de la page 65) qui est introduite dans le cylindre et même, s'il y a entraînement de gaz de la boîte à fumée, grâce à cette vapeur saturée, ces gaz seront, d'une part, dilués dans la vapeur et, d'autre part, refroidis par elle vers 200° C. La tenue en service de la cylindrine est donc nettement meilleure et l'efficacité du graissage est plus certaine.

Des essais plus récents ont montré que l'aspiration des gaz de la boîte à fumée, dans les cylindres à marche à modérateur fermé, pouvait être évitée en faisant usage de *reniflards* en communication directe avec les boîtes à vapeur des cylindres.

#### 6) *Caractéristiques que doivent posséder les cylindrines.*

*Densité.* — La densité à 20° C ne peut dépasser 0,900 à 0,905 selon la viscosité requise.

*Point éclair ou point d'inflammabilité.* — Il varie de 225° à 285° C selon le genre de cylindrine (pour vapeur saturée, moyenne surchauffe, haute surchauffe). Plus la température est élevée, plus le point éclair doit être élevé.

*Viscosité.* — Il faut prendre comme point de comparaison la viscosité à 100° C et, à viscosité identique mesurée à 100° C, on doit donner la préférence à l'huile qui donne la meilleure courbe de viscosité.

La viscosité à 100° C est :

de 4° Engler pour les cylindrines à vapeur saturée,  
de 5° Engler pour les cylindrines à surchauffe moyenne,  
de 6° à 7° Engler pour les cylindrines à haute surchauffe.

*Asphalte.* — Une bonne cylindrine est exempte d'asphalte, générateur de cambouis.

*Carbone résiduel.* — Il s'agit du résidu de la décomposition thermique de l'huile et principalement du cracking des résines du pétrole qui y sont dissoutes. Ces résines sont en grande partie éliminées dans les huiles « filtrées ».

Une bonne huile peut donner jusque 2 % de carbone résiduel dans le cas des cylindrines pour vapeur saturée et jusque 3,25 % dans le cas des cylindrines pour vapeur surchauffée.

*Résistance à l'entraînement à 425° C.* — Une huile qui se transforme en vapeur aux températures inférieures à 425° C est perdue pour le graissage, les vapeurs d'huile, une fois produites, ne se condensent plus.

La S. N. C. B. a mis au point *un essai de laboratoire* permettant de déterminer par avance le comportement des cylindres aux hautes températures.

Une quantité déterminée, toujours la même, de cylindrine est atomisée dans un courant constant de vapeur surchauffée à 425° C.

L'huile est introduite dans la vapeur à une cadence toujours identique. Une partie de l'huile est entraînée, tandis que le résidu est recueilli soigneusement.

On mesure le pourcentage d'huile non entraînée et, sur ce résidu non entraîné, on détermine :

- a) la teneur en asphalte,
- b) la teneur en carbone résiduel selon Conradson,
- c) l'acidité totale.

Une bonne huile donne, dans les conditions de l'essai, au moins 50 % de résidu non entraîné, la teneur en asphalte reste nulle, tandis que la teneur en carbone résiduel ne s'accroît pas de plus de 10 % par rapport à l'huile essayée.

## B. Graisses consistantes.

Certaines locomotives ont leurs *têtes de bielles* ainsi que leurs *boîtes montées sur roulement à rouleaux* graissées au moyen de graisses consistantes.

Le but recherché est d'employer un lubrifiant adhérant bien aux surfaces à graisser, visqueux à froid sans l'être trop, fluide à chaud et dont la consommation soit réduite au minimum.

Une graisse consistante est une émulsion, plus ou moins dure, de savon de soude ou de savon de chaux dans de l'huile minérale.

Les graisses consistantes à base de *savon de chaux* sont dénommées *graisses « Stauffer »* et sont utilisées à la lubrification des *transmissions*.

Les graisses consistantes, à base de *savon de soude*, sont employées au graissage des *roulements à billes ou à rouleaux*.

On caractérise commercialement une graisse consistante par son *point de fusion* dénommé « *point de goutte* » (« *Ubbelohde* » du nom de l'inventeur de la méthode).

Le point de fusion des graisses *Stauffer* (à base de savon de chaux) s'établit entre 75° et 80° C ; celui des graisses à base de savon de soude, varie de 130° à 170° C.

Une graisse consistante de qualité est constituée de :

80 à 90 % d'une bonne huile minérale raffinée et visqueuse, à bas point de congélation,

10 à 16 % d'huile animale (huile de pied de bœuf, huile de lard, etc.),

2 à 3 % de soude caustique ou de chaux devant saponifier entièrement l'huile animale.

### C. — Huiles végétales.

La S. N. C. B. a abandonné complètement l'emploi des huiles végétales. Les huiles de *colza* et de *navette*, qui étaient très utilisées dans le passé, étaient extraites, sous l'action de puissantes presses hydrauliques, des graines de ces plantes.

Notons que les huiles végétales sont très onctueuses et que leur courbe de viscosité est meilleure que celle des huiles minérales, même de première qualité.

La viscosité des huiles végétales variant peu avec la température, ces huiles conviennent particulièrement bien pour les graisseurs à *ouverture fixe*, le débit restant sensiblement constant.

Mais à *haute température*, les huiles végétales se décomposent, s'acidifient et se carbonisent et, dès lors, donnent lieu à des encrassements.

Ajoutons que les huiles végétales se figent entre 1° et 10° sous zéro.

Enfin, actuellement, les huiles de colza et de navettes sont très chères et très rares, la totalité de la production étant réservée aux fabriques de margarine et de savon.

#### D. — **Huiles extraites du goudron de houille.**

Ces huiles sont sensiblement neutres, mais sont instables, altérables et facilement congelables, elles ne conviennent donc pas pour des graissages importants. Elles ne sont pas utilisées par la S. N. C. B.

#### E. — **Huiles et graisses animales.**

Parmi les meilleurs produits citons :

a) *L'huile de pied de bœuf.* — Cette huile est extraite des sabots des bœufs ; elle constitue un lubrifiant de valeur destiné au graissage de *fines mécaniques* (machines à coudre, par exemple).

L'huile de pied de bœuf entre dans la fabrication des graisses consistantes de qualité supérieure. Elle sert aussi à « compounding » les cylindrines pour vapeur saturée et pour vapeur à surchauffe moyenne (page 439).

b) *L'huile de lard.* — C'est la partie liquide et neutralisée de la graisse du lard.

Cette huile sert également à « compounding » les cylindrines.

c) *Suif.* — Le suif provient des tissus adipeux des bœufs et des moutons. Il n'est plus utilisé au graissage à la S. N. C. B.

Il entre dans la préparation des savons servant à la fabrication des graisses consistantes.

## CHAPITRE II

# MÉCANISME DU GRAISSAGE

Dans l'étude du mécanisme du graissage, nous distinguerons deux cas :

- Cas de surfaces planes glissant l'une sur l'autre ;
- Cas de tourbillons animés d'un mouvement continu de rotation.

### a) Surfaces planes glissant l'une sur l'autre.

La théorie hydrodynamique du graissage a introduit la notion du « *coin d'huile* ».

Lorsqu'une surface plane, à arêtes vives, telle que A, glisse sur une autre surface B (fig. 530), l'effort qui produit le glissement tend à chasser le lubrifiant interposé entre les deux surfaces, il s'ensuit que le glissement se poursuit avec frottement demi-sec.

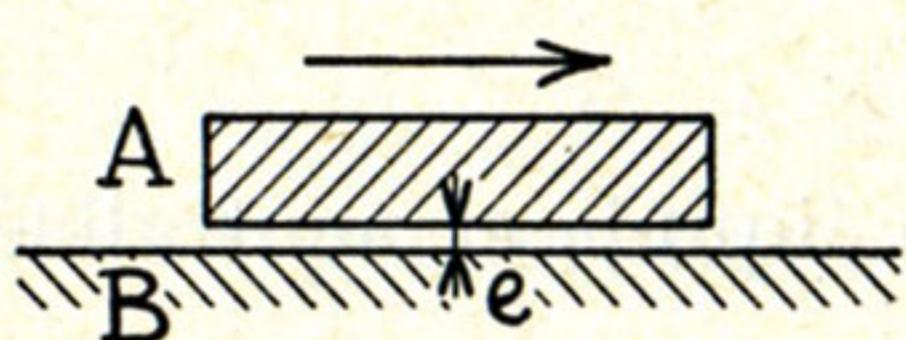


Fig. 530

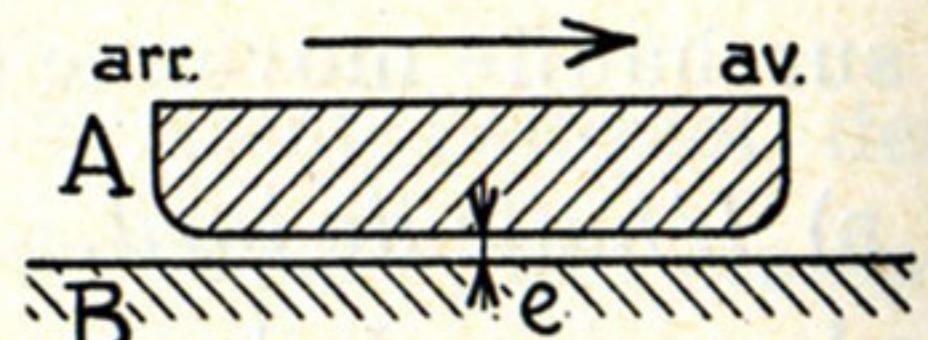


Fig. 531

Mais si la pièce A en mouvement est construite de telle manière que son arête *avant* soit *arrondie et relevée*, comme le montre la figure 531, on constate qu'il se forme dans le lubrifiant un *coin d'huile* (fig. 532) qui tend à soulever la pièce A.

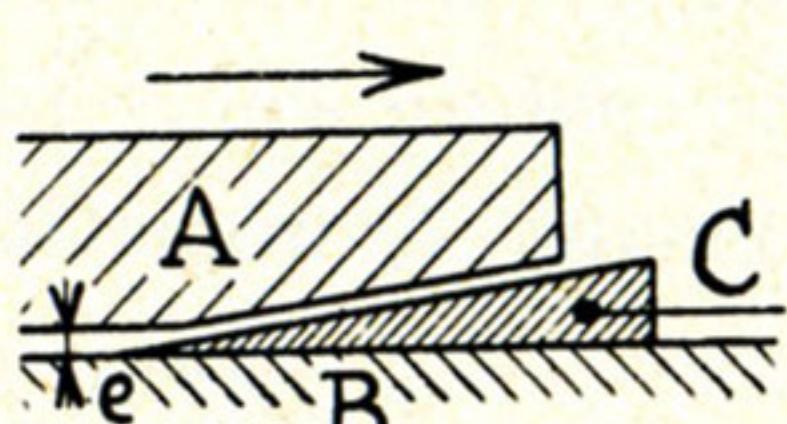


Fig. 532

En outre, il se produit dans la couche d'huile une augmentation de pression qui, si les circonstances s'y prêtent, peut devenir suffisante pour que la pièce A *flotte* sur la couche d'huile et s'y maintienne malgré la charge que la pièce A supporte.

Cette augmentation de pression se produit sous l'action du

mouvement de glissement d'une part et sous l'action de la viscosité d'autre part.

La même chose se produit dans le cas où les extrémités de la pièce *A* sont relevées en plans inclinés (fig. 533).

L'explication du phénomène est la suivante (\*) :

Par suite des propriétés adhésives de l'huile, celle-ci s'attache aux deux surfaces frottantes. Dès lors, par suite du mouvement de glissement de l'une des surfaces sur l'autre, l'huile est étirée entre les deux surfaces, dans le sens de sa longueur. Par suite de la diminution de la section transversale de la couche d'huile qui en résulte et de la cohésion des particules fluides due à la viscosité, il se produit au sein de la couche une augmentation de pression qui, pour une vitesse de glissement suffisante, provoque le soulèvement de la pièce *A* au-dessus de la pièce *B* et son flottement dynamique continu.

Le maximum de pression est atteint un peu avant le point *a*, où la surface d'appui de la pièce mobile *A* devient oblique par rapport au plan de glissement *B*.

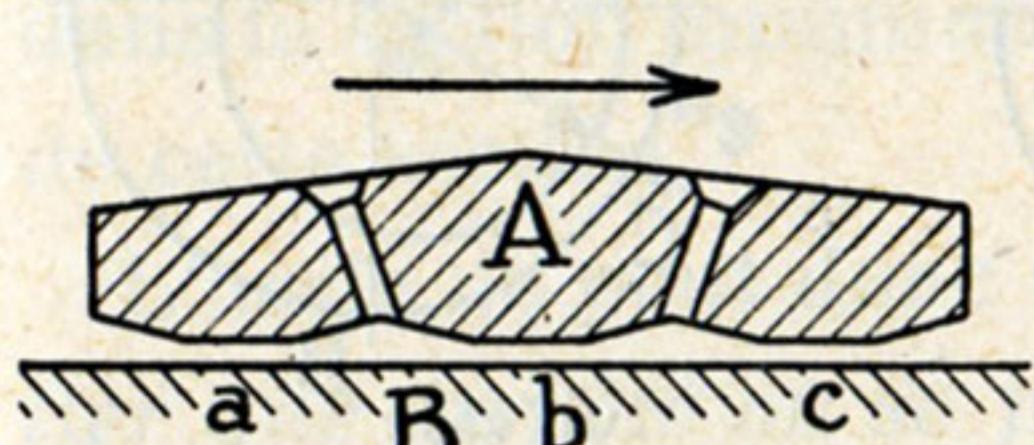


Fig. 533

Lorsque la pièce en mouvement *A* doit supporter une charge très élevée, on donne à la surface d'appui la forme représentée fig. 534. Elle comporte, pour chaque sens de mouvement, trois surfaces portantes

*a*, *b* et *c* en plan incliné, au lieu d'une seule.

Les plans inclinés n'occupent pas toute la largeur de la pièce mobile et cela pour éviter une fuite latérale de l'huile à haute pression hors des cavités constituées par les plans inclinés.

Lorsque le mouvement s'arrête, le frottement qui était *fluide*, se transforme au fur et à mesure de la diminution de

(\*) *Technique du graissage* par E. FALZ. Éditions Béranger. — Paris et Liège.

vitesse en frottement *onctueux*, c'est-à-dire demi-fluide et, au moment de l'arrêt, en frottement demi-sec. C'est ce dernier qui existe jusqu'au moment de la remise en marche.

b) *Tourillons animés d'un mouvement continu de rotation.*

Rappelons-nous que les deux conditions essentielles à la réalisation d'un frottement exclusivement fluide sont :

a) le film d'huile doit prendre la forme d'un coin qui est entraîné dans le mouvement de glissement, le *dos* du coin se présentant toujours le premier dans le sens du mouvement (voir figure 532).

b) la vitesse de glissement doit être suffisante pour développer dans le coin d'huile une pression permettant le soulèvement de la pièce mobile au-dessus de la pièce fixe.

Pour satisfaire à la première condition *dans le cas des tourillons*, il suffit de donner au coussinet un alésage supérieur au diamètre du tourillon. Effectivement, lorsque le tourillon repose à l'arrêt sur le coussinet, il existe entre les deux pièces

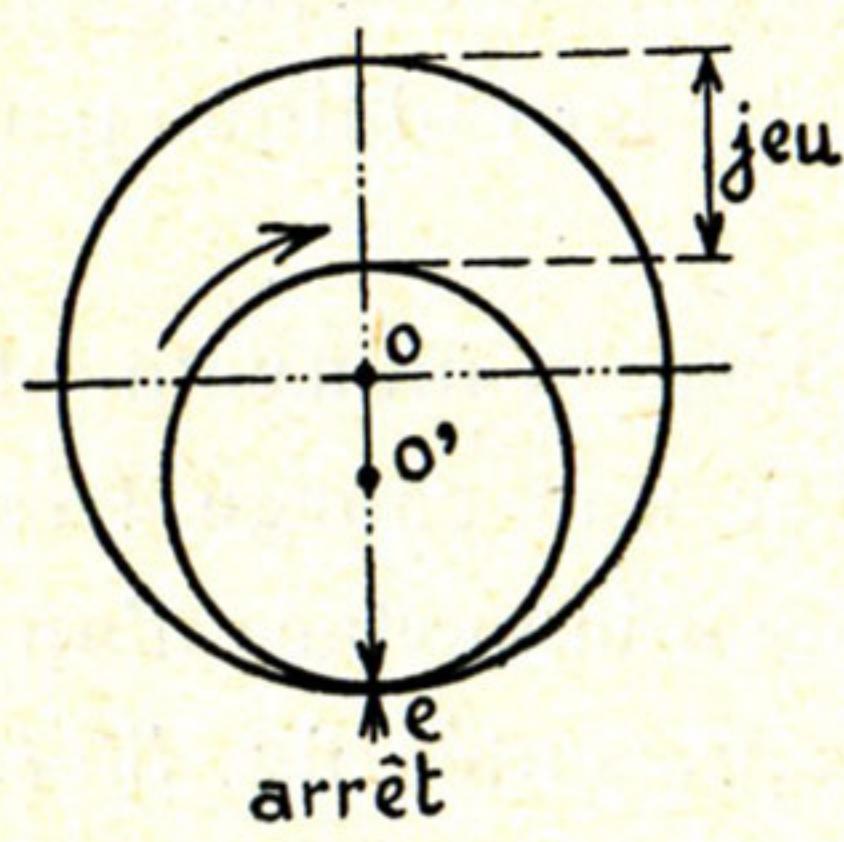


Fig. 535

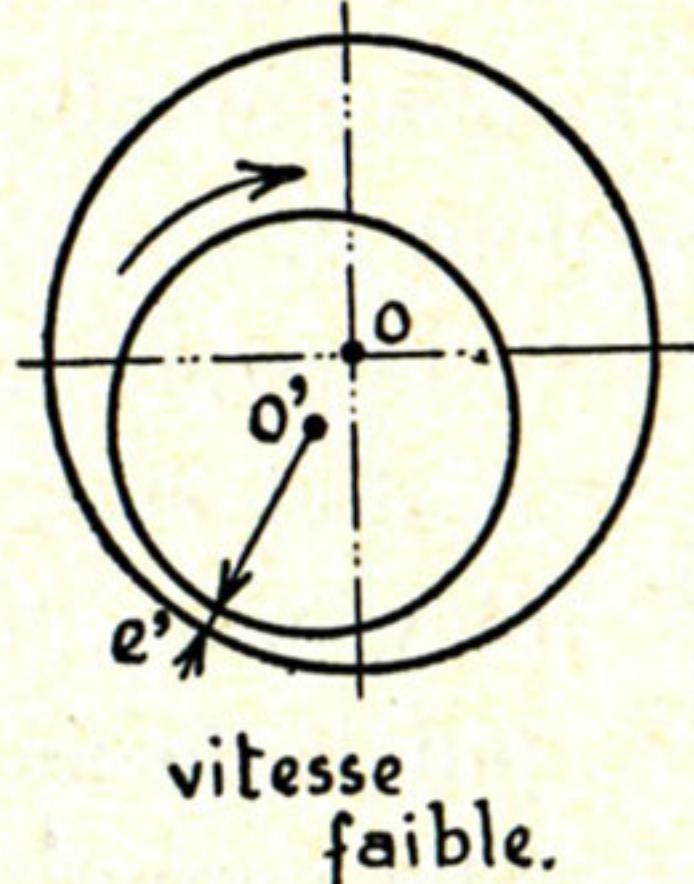


Fig. 536

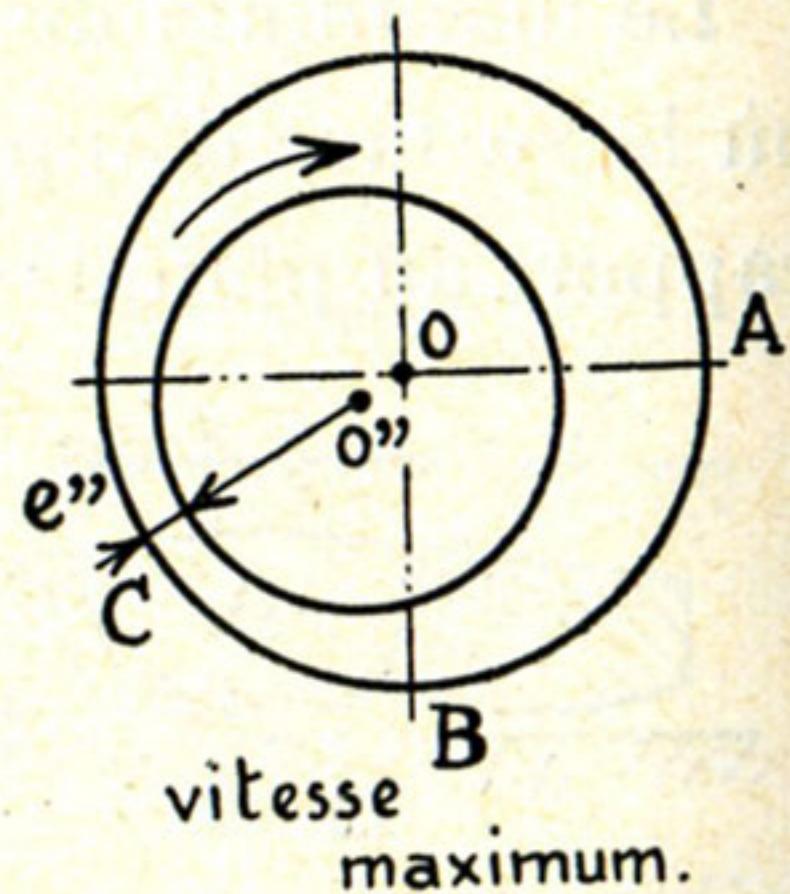


Fig. 537

un espace en forme de *coin courbe* (fig. 535), espace qui va en diminuant jusqu'à devenir nul au point de contact des deux pièces.

Si la vitesse de rotation du tourillon est assez élevée pour créer au sein du film d'huile une pression suffisante pour soulever le tourillon de son palier, le tourillon flottera sur le film d'huile et le frottement sera exclusivement fluide.

Pour une faible vitesse, le tourillon commence à flotter, mais il prend une position excentrique par rapport au palier (fig. 536) ; son centre vient en  $o'$ .

Il y a donc non seulement un soulèvement *vertical* du tourillon mais encore un déplacement *latéral* dans l'espace laissé libre par le jeu. Ce déplacement latéral se produit toujours dans la moitié du palier qui supporte la charge et dans le sens de la rotation.

La distance minimum entre le tourillon et le coussinet, c'est-à-dire l'épaisseur  $e'$  du film d'huile sera d'autant plus faible que la vitesse sera plus réduite (fig. 536).

Au fur et à mesure que la vitesse s'accroît (fig. 537), l'épaisseur minimum  $e''$  du film d'huile augmente, le centre  $o''$  du tourillon se rapproche du centre  $o$  du palier. Le centre  $o''$  coïnciderait avec  $o$  pour une vitesse infiniment grande, jamais réalisée.

La pression dans la couche lubrifiante augmente d'une façon continue depuis le côté droit du palier (en  $A$ ) dans le sens du mouvement, c'est-à-dire vers  $B$ , et elle est maximum au point  $C$ , où la section transversale  $e''$  du film d'huile est la plus étroite, à partir de ce point, la pression tombe brusquement.

Par suite de la forme courbe du coin d'huile, l'huile provenant de la partie droite du palier (fig. 538) est entraînée de force dans la section minimum et refoulée au-delà de cette section.

L'huile ne peut donc être *amenée au palier que du côté où se poursuit cette aspiration* due au mouvement du tourillon.

L'huile ne peut être entraînée dans la partie chargée du coussinet que par le tourillon lui-même et cela, du côté où la section du film va en se rétrécissant dans le sens du mouvement de rotation.

L'huile parcourt un trajet circulaire ininterrompu ; un apport d'huile fraîche n'est indispensable que dans la mesure où il faut compenser la quantité que la pression chasse par les extrémités du palier.

*Remarque.* — Pour que le graissage soit parfait, il faut encore que le coussinet ne soit pas fixé dans une position

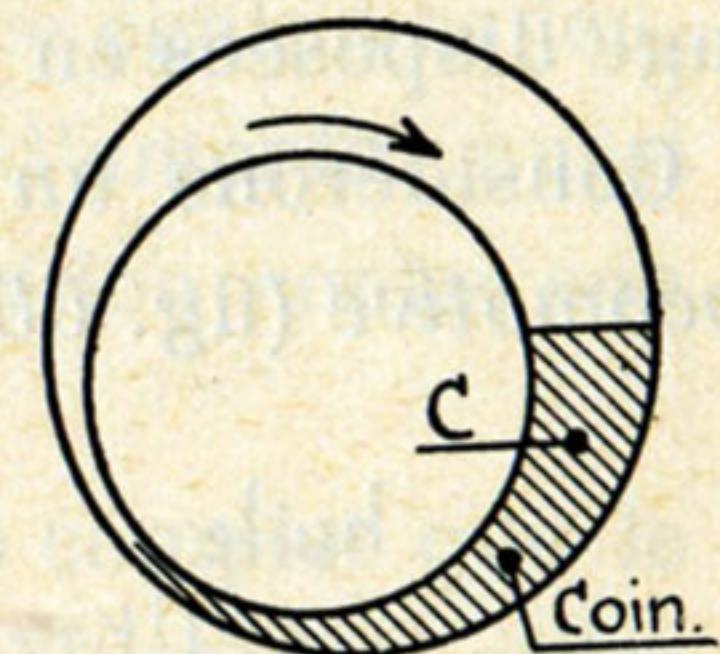


Fig. 538

invariable, mais construit de manière à conserver une certaine liberté de mouvement, de manière à pouvoir s'orienter lui-même dans une direction parallèle à l'axe du tourillon. C'est pourquoi on emploie des paliers avec surface sphérique d'appui ou tout autre dispositif permettant l'auto-orientabilité.

## 2. Influence des rainures de graissage.

Puisque la pression qui soulève le tourillon dans le cas du frottement fluide augmente à mesure que l'épaisseur du film en forme de coin diminue, il est clair que si l'on creuse une rainure parallèle à l'axe dans la paroi du demi-coussinet chargé, la continuité du film sera rompue, l'huile se répandra dans la rainure et l'augmentation de pression acquise en ce moment dans le film diminuera brusquement. Il s'ensuit que le frottement fluide se transformera en frottement onctueux ou demi-fluide, d'où élévation de température et usure plus accentuée.

Il en sera de même si l'on fait usage de rainures de graissage disposées en croix (*pattes d'araignées*).

Considérons *un demi-coussinet posant sur un essieu de locomotive* (fig. 539).

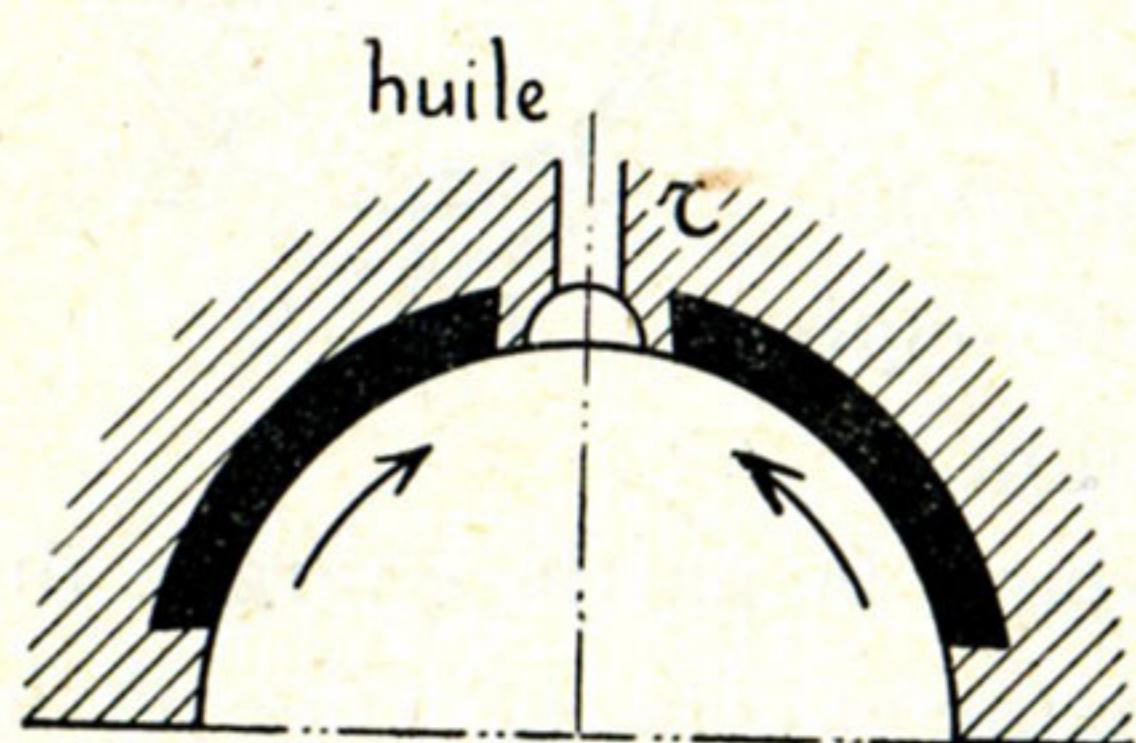


Fig. 539

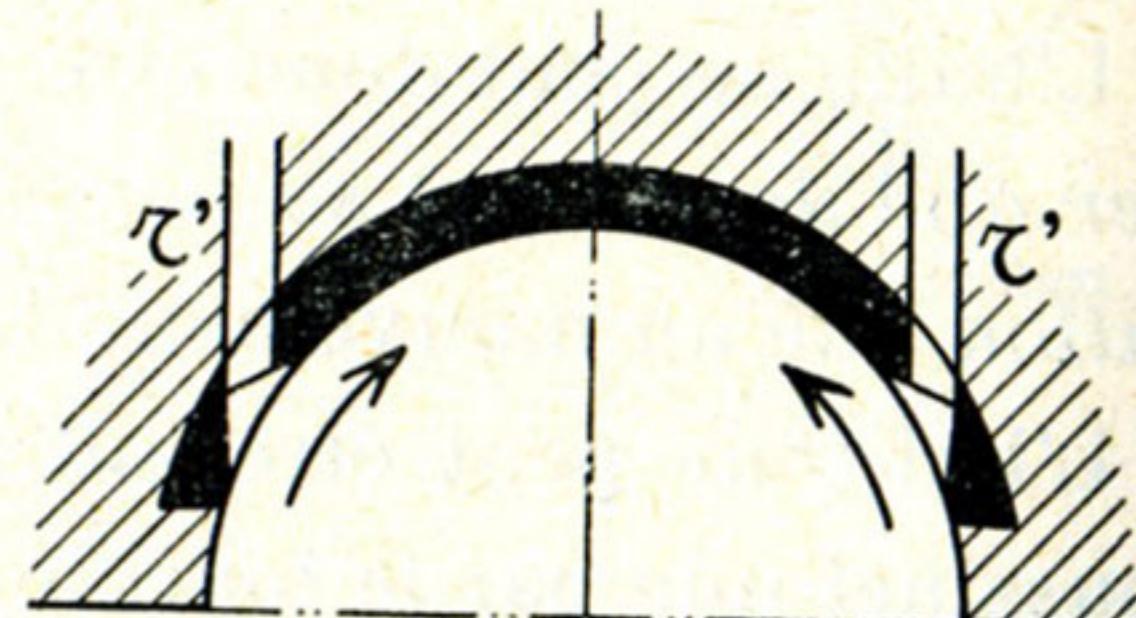


Fig. 540

Le corps, en bronze, porte de chaque côté une garniture en métal blanc.

Supposons qu'au milieu, c'est-à-dire au point où agit toute la charge, nous disposions une forte rainure longitudinale  $r$ , servant à l'alimentation de l'huile.

Les considérations exposées plus haut condamnent cette

pratique. Il est préférable de supprimer la rainure centrale *r* et de la remplacer par deux rainures latérales *r' r'*, *dont chacune sert pour un sens de roulement* (fig. 540). Dans aucun cas, elles ne doivent occuper toute la largeur de la surface frottante ; leurs bords doivent être arrondis.

### 3. Graissage des tourillons oscillants.

Dans le cas des tourillons oscillants, le graissage se présente dans des conditions différentes.

En effet, considérons le *tourillon de crosse* d'une machine à vapeur à piston : le mouvement de la crosse étant alternatif, le tourillon prend aussi *dans son coussinet* un mouvement d'oscillation alternatif et, pendant ce mouvement, il appuie pendant la première moitié de son parcours sur l'un des demi-coussinets et, pendant l'autre moitié, sur l'autre demi-coussinet. Comme il existe toujours un certain jeu du tourillon dans son coussinet, le tourillon, à chaque changement de sens, se déplace à l'intérieur du palier d'une distance égale à ce jeu.

Le graissage a, ici, pour but essentiel *d'amortir* aussi complètement que possible les chocs du tourillon contre son coussinet au passage des points morts.

L'amortissement du choc sera d'autant plus complet que le palier sera plus étanche à ses extrémités. Dans cet ordre d'idées, il est utile de munir le tourillon de collets pour éviter la fuite latérale de l'huile.

Si, au moment où la pression de la vapeur sur le piston change de sens, l'amortissement est suffisant, il n'y aura pas de choc du tourillon sur son coussinet ; le tourillon se déplacera alternativement dans les deux sens, dans l'espace constituant le jeu du palier, espace complètement rempli par l'huile de graissage, sans jamais atteindre l'extrémité de sa course dans un sens ni dans l'autre. Du même coup, le graissage parfait sera réalisé, puisque le tourillon n'entrera jamais en contact avec le coussinet.

Il va sans dire que l'huile expulsée devra être remplacée au

moment du changement du sens de l'effort par une quantité égale d'huile fraîche.

Cette huile fraîche doit pouvoir être attirée avec une vitesse suffisante par le tourillon qui, en s'écartant du coussinet, produit un effet d'aspiration.

L'arrivée d'huile doit être placée à l'endroit où l'aspiration est la plus forte, c'est-à-dire dans la partie médiane du coussinet.

Pour améliorer encore l'aspiration, on amène l'huile dans la partie centrale de chacune des deux moitiés du coussinet et l'on pratique dans la paroi du coussinet, au point d'amenée de l'huile, une courte cannelure de graissage *transversale*, destinée à assurer une rapide répartition axiale de l'huile dès qu'elle débouche dans le coussinet.

## CHAPITRE III

### APPAREILS DE GRAISSAGE

**Considérations générales.** — Lorsque la matière lubrifiante est bien choisie, il n'est pas nécessaire que la lubrification soit très abondante, elle doit être simplement *suffisante* et *régulière*.

Comme les matières lubrifiantes coûtent cher, on doit se montrer économe dans leur emploi et s'évertuer à ne dépasser que le moins possible la quantité nécessaire. Lorsque le graisseur sera à débit réglable, on cherchera à rendre ce *débit visible* pour arriver ainsi à le contrôler d'une manière précise; sans cela, on serait naturellement conduit à donner un trop grand débit.

Il est évident que la capacité des graisseurs doit être *largement suffisante* pour contenir la quantité d'huile qui peut être consommée pendant les plus longs parcours sans arrêt. De ce point de vue, il faut tenir compte de ce que certaines circonstances, un léger dérangement dans le réglage, un commencement de chauffage, peuvent faire augmenter le débit dans de grandes proportions.

On peut classer les graisseurs suivant leur destination en deux catégories :

1<sup>o</sup>) *les graisseurs pour les pièces du mécanisme* (articulations, coussinets, guides, etc.) dont la température ne dépasse pas de beaucoup la température extérieure ;

2<sup>o</sup>) *les graisseurs des pistons et des tiroirs* soumis à la température et à la pression de la vapeur.

#### A. Graisseurs du mécanisme.

1. — *Godet graisseur.* — Les plus simples de ces appareils comportent une poche ménagée dans l'organe ou un

*godet* relié par un canal court et direct avec la surface à graisser.

Les figures 541-542 représentent un dispositif de ce genre appliqué à l'articulation inférieure d'un levier d'avance du mécanisme Walschaerts. La poche *P* forée dans la masse est remplie de déchets de laine et est fermée par un bouchon fileté *B*. L'huile est introduite par une ouverture *O* ménagée sur le côté. Le bourrage contenu dans la poche *P*吸ue cette huile et en régularise le débit vers la surface à graisser tout en la préservant dans la mesure du possible des poussières extérieures.

Cet arrangement est très satisfaisant pour les articulations fatigant peu, oscillant peu et, en résumé, consommant très peu d'huile.

2. — *Graisseurs à mèches*. — Lorsque l'organe doit être abondamment lubrifié, la contenance du godet doit augmenter en conséquence et, en vue d'assurer les conditions de régularité et d'économie, ces appareils seront dans une certaine mesure réglables par le machiniste.

Les premiers graisseurs de ce genre sont les *graisseurs à mèche* (fig. 543). Ils comportent généralement un godet au centre duquel se trouve une busette destinée à conduire l'huile aux surfaces frottantes et dont le niveau supérieur émerge au-dessus du niveau de l'huile. Une mèche de laine plonge par l'une de ses extrémités dans l'huile et par l'autre, à l'intérieur de la busette.

Par capillarité, l'huile monte dans la mèche, celle-ci, imbibée, agit à la manière d'un siphon et l'huile s'écoule dans le tube central. Le *réglage du débit* est obtenu en variant la composition de la mèche. Le

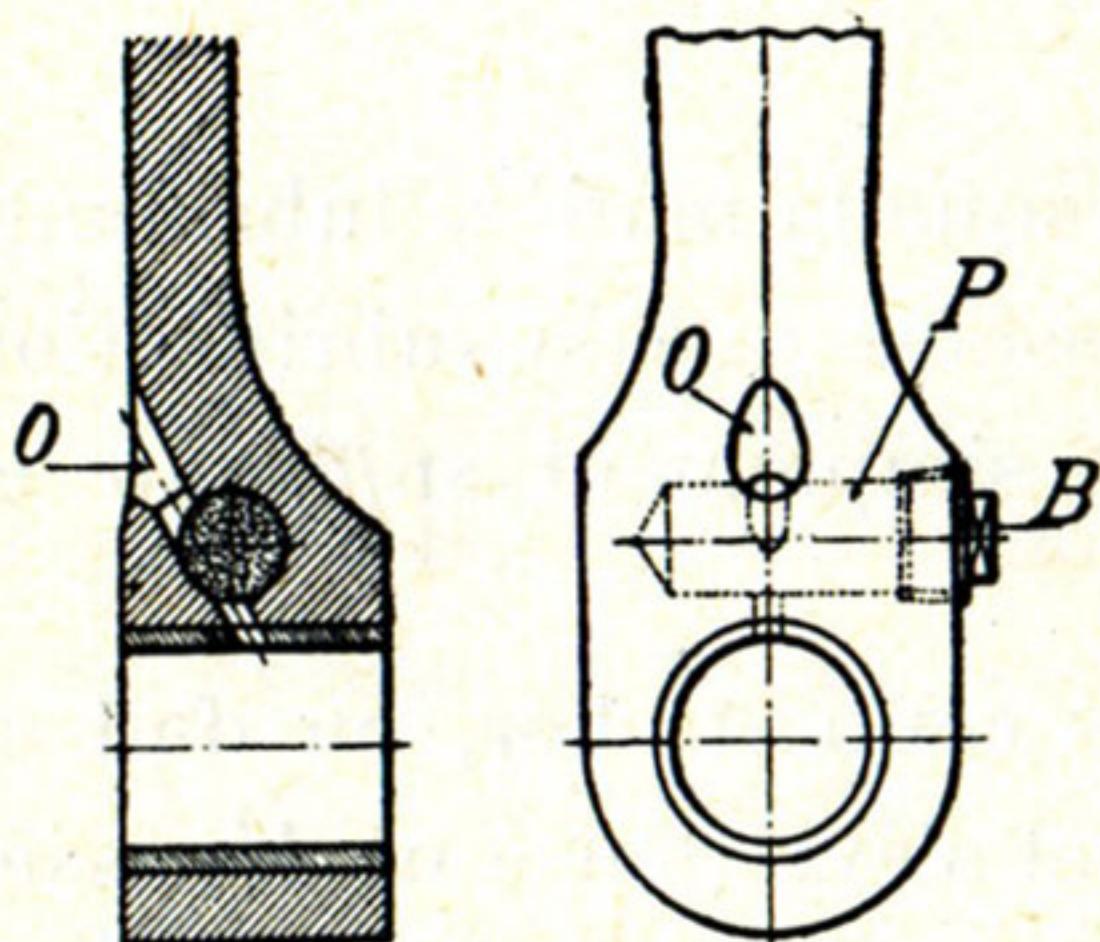


Fig. 541, 542. — Godet graisseur.

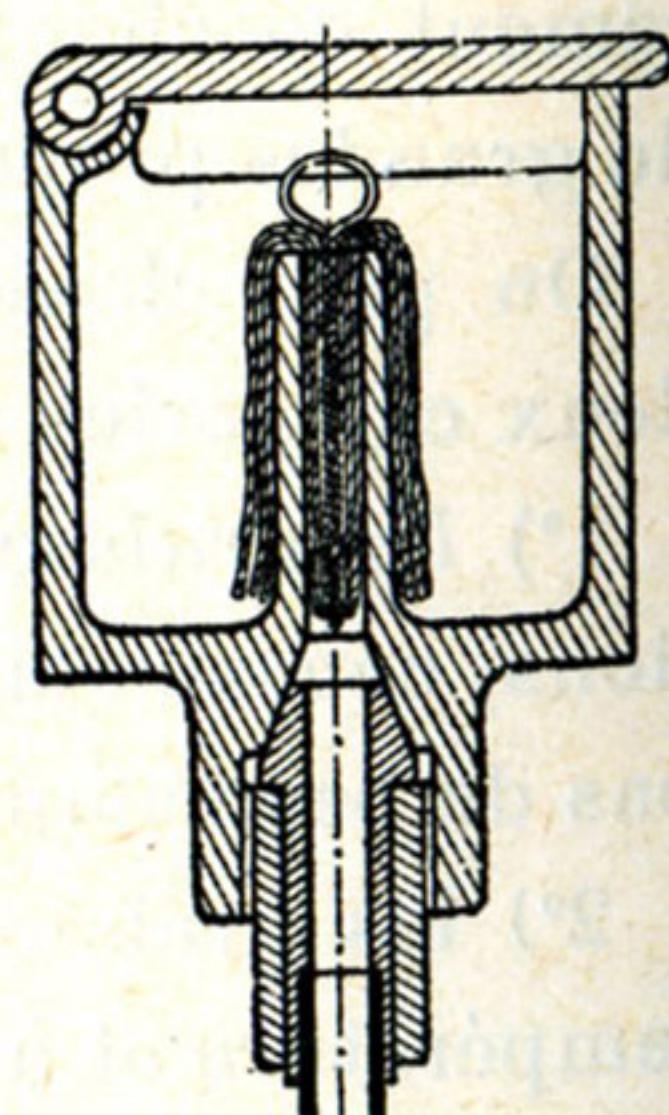


Fig. 543

débit est totalement supprimé en retirant complètement la mèche, opération qu'on rend plus aisée en fixant la mèche à une *épinglette* en fil de cuivre.

En raison de son mode de fonctionnement, le graissage par mèche laisse au fond du godet les impuretés que l'huile pourrait contenir, mais à côté de cet avantage, il présente différents inconvénients. Le retrait des mèches ne peut guère se faire que lors d'un stationnement quelque peu prolongé ; pendant les arrêts, les mèches continuent à débiter, occasionnant ainsi une dépense inutile. Le graissage par mèches exige une huile assez fluide et, même avec une huile fluide, la capillarité des mèches diminue et il faut les renouveler assez fréquemment.

Les graisseurs à mèches sont employés pour les boîtes à huile, les guides de crosses de piston, les tiges des pistons et des tiroirs, etc.

3. — *Graisseurs à pointeau*. — En vue de remédier aux inconvénients précités, on a créé de nombreux systèmes dont l'un des plus intéressants est le *graisseur à pointeau*.

La fig. 544 montre clairement comment il est construit. *Le réglage* est obtenu en faisant pénétrer plus ou moins l'extrémité conique de la tige centrale dans le siège correspondant. Un cône aigu est ici avantageux attendu que pour une même levée de la tige (correspondant par exemple à un tour de vis), l'ouverture permettant l'écoulement de l'huile sera plus faible que si le cône était obtus. Le réglage est donc plus précis. Un ressort *r* s'engage dans les encoches correspondantes du bouton molleté du haut de la tige et assure ainsi la fixité du réglage adopté.

Ce graisseur a l'avantage de ne comporter que des parties métalliques et de permettre un réglage précis, même avec les huiles les plus visqueuses. Tandis que dans le graisseur précédent, le retrait des mèches est une opération salissante, rebutant les machinistes qui la négligent, l'arrêt et la remise

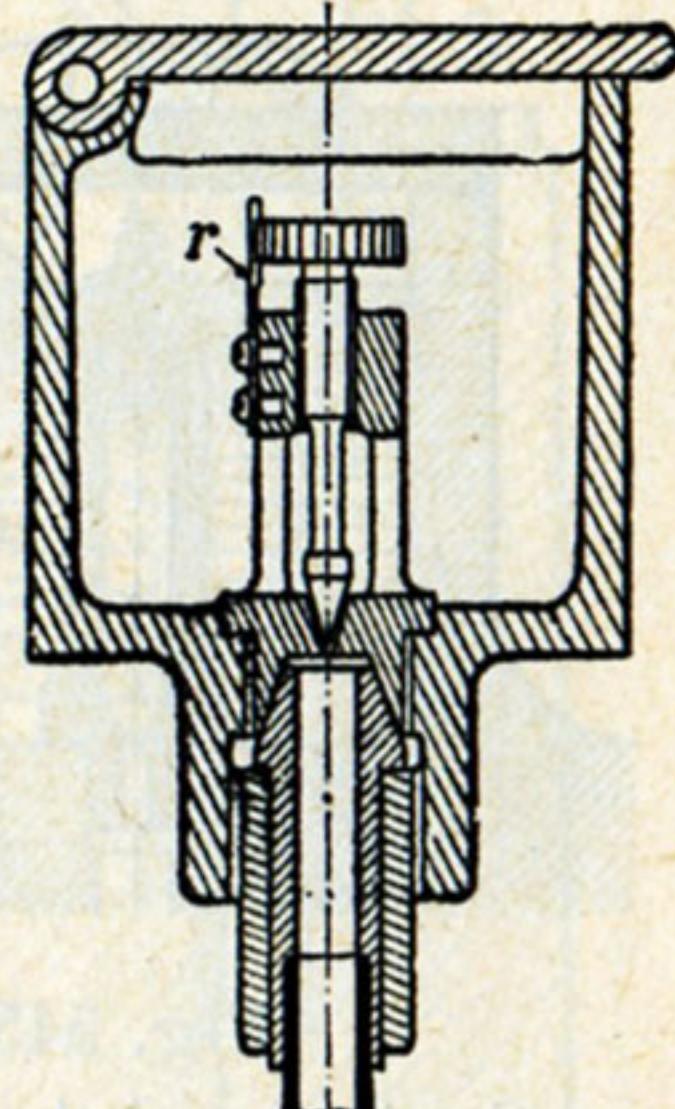


Fig. 544  
Graisseur à pointeau

en marche du graisseur à pointeau n'offrent pas cet inconvénient. Ce graisseur peut être rapidement fermé et rouvert ; enfin, quand le bouton porte une graduation, la position du pointeau peut être repérée, ce qui permet à chaque remise en marche de réaliser sûrement le débit qui a été reconnu le plus favorable.

Le graisseur à pointeau est d'un usage général dans certaines compagnies où il remplace le graisseur à mèches ; il présente l'inconvénient de s'obstruer facilement.

Lorsqu'il s'agit de lubrifier des pièces à mouvement rotatif, alternatif ou soumises à des trépidations violentes, on fait usage de graisseurs étudiés de façon à *ne débiter que pendant la marche*.

On a créé de très nombreux modèles de graisseurs présentant ce caractère ; nous nous bornerons à décrire le *graisseur à épinglette*, d'origine française, actuellement employé à la S. N. C. B.

4. — *Grasseur à épinglette* (fig. 545). — Il comporte un godet ordinairement creusé dans le corps de la pièce et présentant au centre une tubulure de graissage *A*. La partie supérieure de cette tubulure présente une tête *T* rapportée, en acier, formant bouchon et percée en son centre d'un trou de 1 mm de diamètre.

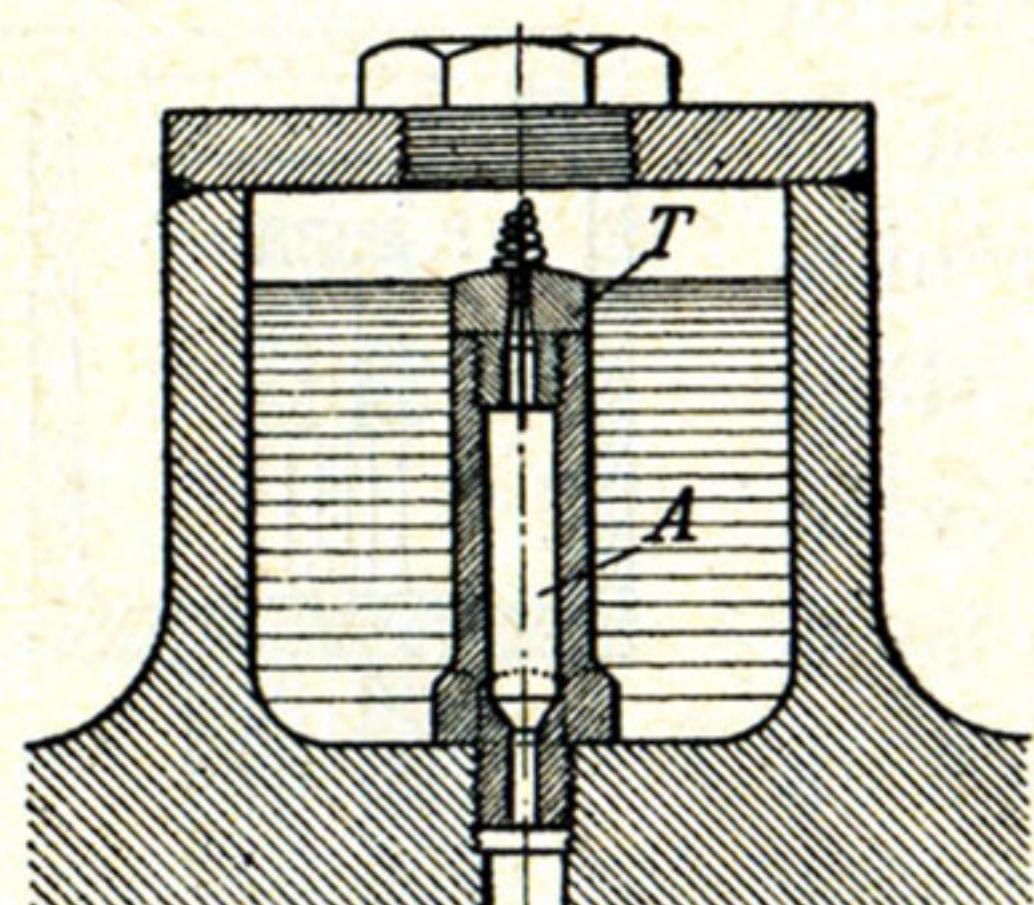


Fig. 545  
Graisseur à épinglette.

Un petit fil de cuivre ou de laiton, de 0,6 mm de diamètre environ, appelé communément *épinglette*, pénètre dans le petit trou central par une partie droite d'une certaine longueur. L'épinglette repose sur la tête de la tubulure par une partie façonnée en forme de spirale, comme l'indique la figure.

Le godet est fermé vers le haut par un bouchon métallique. Certains réseaux utilisent un bouchon d'assez grand diamètre qui comporte en son centre un deuxième bouchon, fileté en

bois, de plus petit diamètre. Ce dernier est dévissé à la main pour le remplissage du graisseur, le grand bouchon métallique n'est démonté que pour le nettoyage du graisseur.

Voyons maintenant comment le graisseur fonctionne. Le godet n'est rempli d'huile que jusqu'à un niveau qui doit être inférieur au sommet de la tubulure de graissage.

Au repos, ce graisseur ne débite donc pas, mais dès qu'il y a mouvement, l'huile agitée est projetée contre l'épinglette et s'écoule par son propre poids le long de la tige centrale.

Il est à remarquer que l'épinglette elle-même monte et descend pendant la marche, ce qui facilite le passage de l'huile et prévient d'une façon efficace toute obstruction due à des impuretés que l'huile pourrait contenir.

Ce modèle de graisseur est l'un des plus parfaits du genre, il a le grand mérite de pouvoir être exécuté facilement avec toute la précision nécessaire à son bon fonctionnement.

5. — *Graisseur à épinglette à fermeture automatique.* — Le dévissage à la main du bouchon de fermeture du graisseur ordinaire peut présenter du danger dans le cas des mécanismes intérieurs, si la locomotive se met intempestivement en marche.

Ce type de graisseur est utilisé aux grosses têtes de bielles motrices intérieures qui sont difficilement accessibles lorsque la locomotive ne se trouve pas sur une fosse de visite.

Le godet du graisseur représenté fig. 546 est fermé par une soupape à tête sphérique *S* qu'un ressort *R* presse sur son siège.

En appuyant du bout de la burette, comme l'indique la flèche, le machiniste fait descendre la soupape.

Du jeu est prévu entre la queue *q* de la soupape et la tubu-

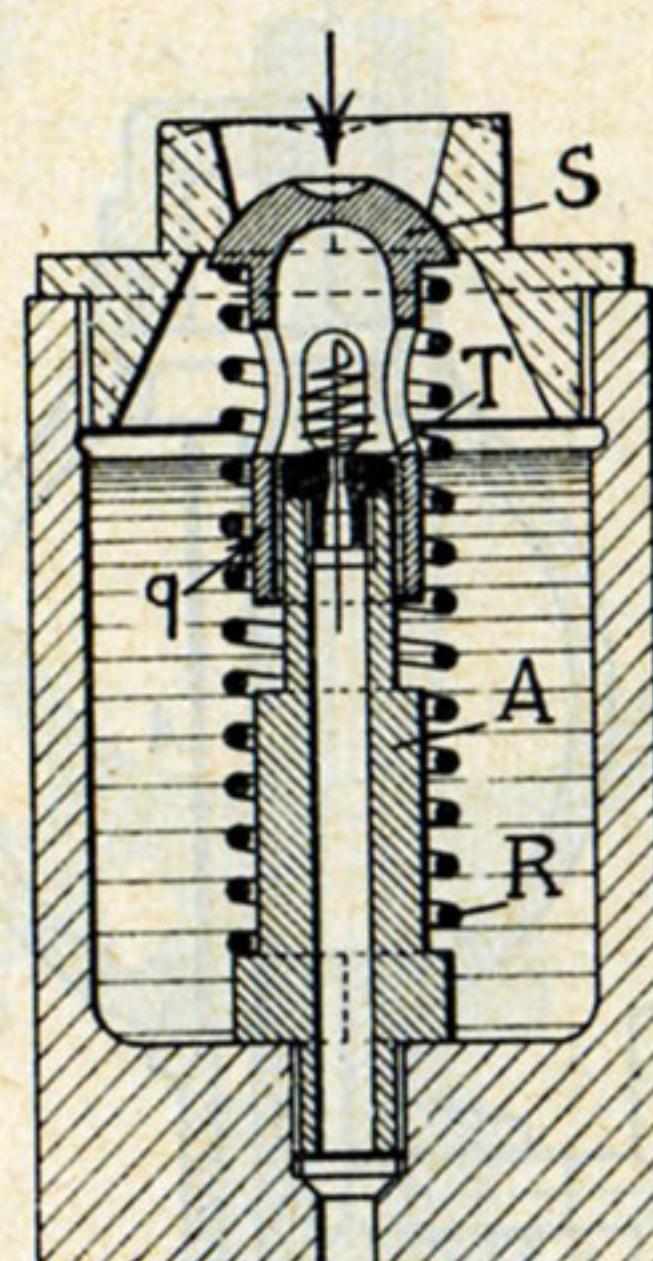


Fig. 546  
Graisseur à épinglette  
à fermeture  
automatique.

ture de graissage *A* qui lui sert de guide, ce qui fait que la soupape porte convenablement sur son siège.

Cependant, l'étanchéité de ce graisseur n'est pas aussi parfaite que celle du précédent.

**B. Graisseurs des pistons et des tiroirs des cylindres de locomotives et des pompes à air et d'alimentation.** — Les tiroirs et pistons doivent toujours être lubrifiés, que la machine fonctionne sous pression ou à modérateur fermé.

Les graisseurs comportant un simple réservoir fermé en haut et en bas par un robinet et vissés directement sur les chapelles des cylindres sont abandonnés actuellement. Ils ne permettaient qu'un graissage intermittent à peu près sans réglage.

On a substitué depuis longtemps à ces appareils des *graisseurs à condensation* dont le fonctionnement est *automatique*.

**1. — Graisseurs à boule.** — La figure 547 représente un modèle simple de ce genre de graisseurs qui a été utilisé pour le graissage de la pompe du frein Westinghouse. Il est constitué par un réservoir sphérique, d'où le nom de graisseur à boule, à l'intérieur duquel se trouve un tube *A* communiquant directement avec la prise de vapeur en *B*. Ce tube est vissé dans le soubassement du graisseur et y forme joint étanche avec le fond du réservoir. Le graisseur est fermé au-dessus par un bouchon vissé qu'on enlève pour l'introduction de l'huile.

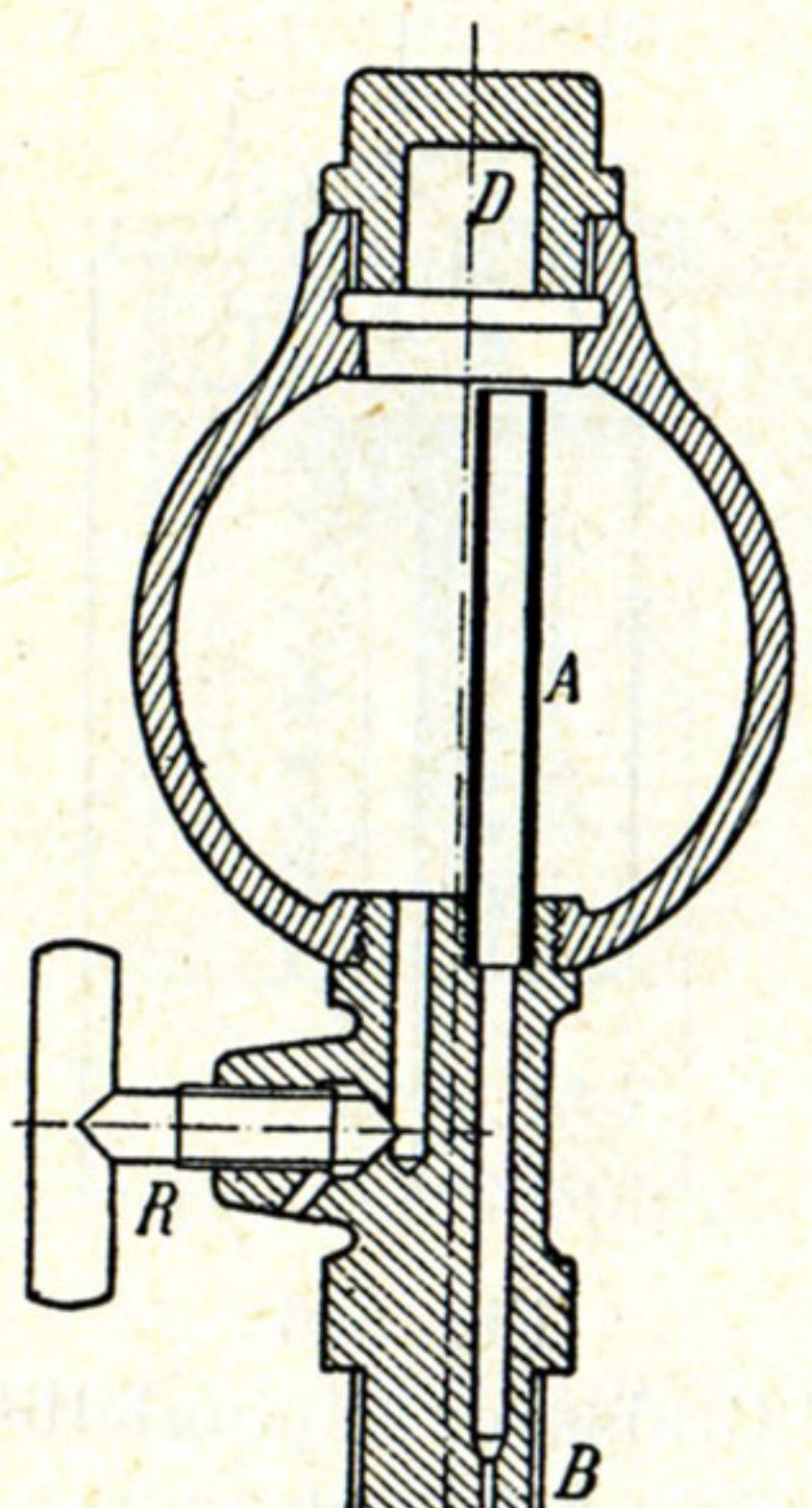


Fig. 547  
Graisseur à boule.

L'huile doit affleurer avec le niveau supérieur du tube *A*. Dès que la pompe fonctionne, la vapeur pénètre par le tube *A* dans la partie supérieure du graisseur, s'y condense, les gouttelettes d'eau formées s'écoulent au fond, l'huile étant

plus légère que l'eau. Le niveau de l'huile tend donc à s'élever d'une quantité correspondante, mais dès qu'il dépasse le tube *A*, l'huile s'écoule goutte à goutte à l'intérieur de celui-ci et se rend d'abord aux tiroirs distributeurs de la pompe et ensuite au piston.

Le débit du graisseur dépend : *a*) de l'étendue des surfaces refroidissantes, surfaces qui sont toujours les mêmes puisque le niveau supérieur du liquide est constant ; *b*) de la température de l'air extérieur et de celle de la vapeur, ces dernières seules peuvent faire varier le débit du graisseur.

Lorsque l'accès de vapeur est supprimé, le graissage cesse ; de ce dernier point de vue, le graisseur décrit est économique.

Avant d'introduire l'huile, il faut s'assurer que la prise de vapeur est bien fermée. Quand le bouchon *D* est dévissé, on laisse écouler l'eau de condensation par le robinet *R*.

**2. — Graisseur Roscoë.** — Le graisseur Roscoë, à condensation et à débit réglable, est dérivé du précédent. On y retrouve (fig. 548), le tube central relié à la chapelle de distribution, le bouchon fileté supérieur et le robinet de purge. Le tube central *A* présente à son extrémité supérieure une ouverture conique dans laquelle pénètre plus ou moins une vis à pointeau *V* tournant dans le couvercle *D* comme écrou. La position de la vis peut être fixée à la main par la poignée *P*. Ce dispositif permet de régler et même d'interrompre le débit du graisseur et, afin de repérer la position du pointeau, la tige de la vis est munie d'une aiguille dont la pointe parcourt une graduation gravée sur la face supérieure de l'écrou.

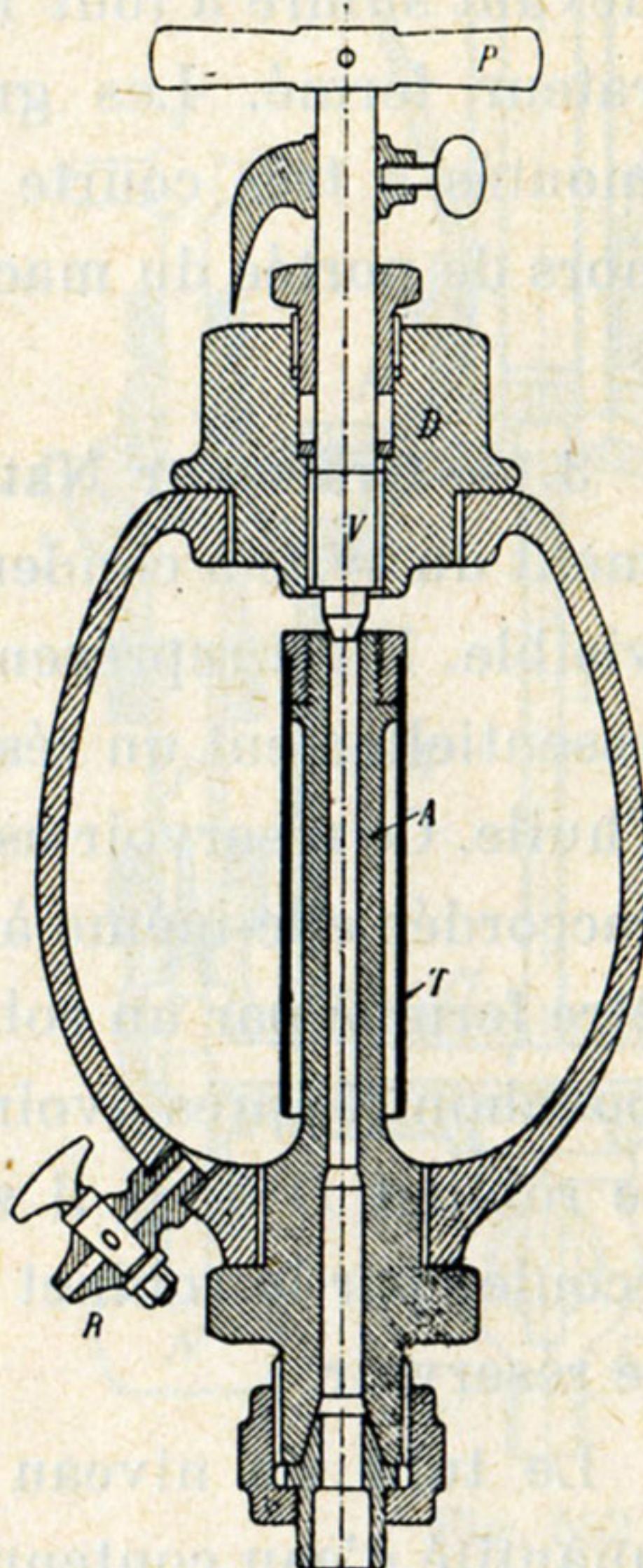


Fig. 548.  
Graisseur Roscoë.

Ce graisseur fonctionne comme le précédent, mais le tube central présente une particularité. Il est entouré d'un second tube *T* concentrique au premier. L'intervalle annulaire compris entre les deux tubes est fermé hermétiquement vers le haut, mais reste ouvert vers le bas.

Lorsque, après avoir vidé complètement le graisseur, on le remplit d'huile, une certaine quantité d'air reste emprisonnée entre les tubes *A* et *T*. Pendant la marche sous pression de vapeur, cet air est comprimé et, lorsqu'on ferme le modérateur, la pression disparaissant, l'air se détend et provoque l'entrée dans la chapelle d'une petite quantité d'huile correspondante devant suffire à tout le temps que durera la marche à modérateur fermé. Les graisseurs Roscoë étaient généralement montés à très courte distance des chapelles de distribution, hors de portée du machiniste pendant la marche.

3. — **Graisseur Nathan.** — Le graisseur Nathan est également du type à condensation, de plus il est à débit réglable et visible. Il est représenté en coupe fig. 549 à 552. Il comprend essentiellement un réservoir cylindrique *A*, destiné à contenir l'huile. Ce réservoir est surmonté d'une cloche *B* (condenseur) raccordée elle-même à une prise de vapeur spéciale qui peut être fermée par un robinet. L'huile s'introduit en dévissant le bouchon *C* après avoir eu soin de fermer la prise de vapeur, le robinet *D* dont il sera question plus loin et avoir laissé écouler par le robinet *E* l'eau de condensation que contenait le réservoir.

Le tube de niveau *F* permet d'ailleurs de s'assurer si la quantité d'eau contenue ne devient pas exagérée.

Le graisseur, placé à portée de la main, est fixé à la devanture de la chaudière par une queue filetée munie d'un écrou.

Voyons à présent comment il fonctionne :

La vapeur vive se condensant dans la cloche *B* s'écoule sous forme d'eau par le canal *H*, le robinet à pointeau *D* étant ouvert, l'eau s'écoule au fond du réservoir par le tube *K*.

Comme dans les graisseurs précédents, l'arrivée de l'eau fait monter le niveau de l'huile et celle-ci pénètre par le tube central *L*. Ce tube, ouvert à son extrémité supérieure, communique par le bas avec un canal perpendiculaire *M*. L'huile est ainsi amenée par le canal *M* aux robinets à pointeau *N*, dont le réglage est fait par le machiniste. Les

Graisseur Nathan

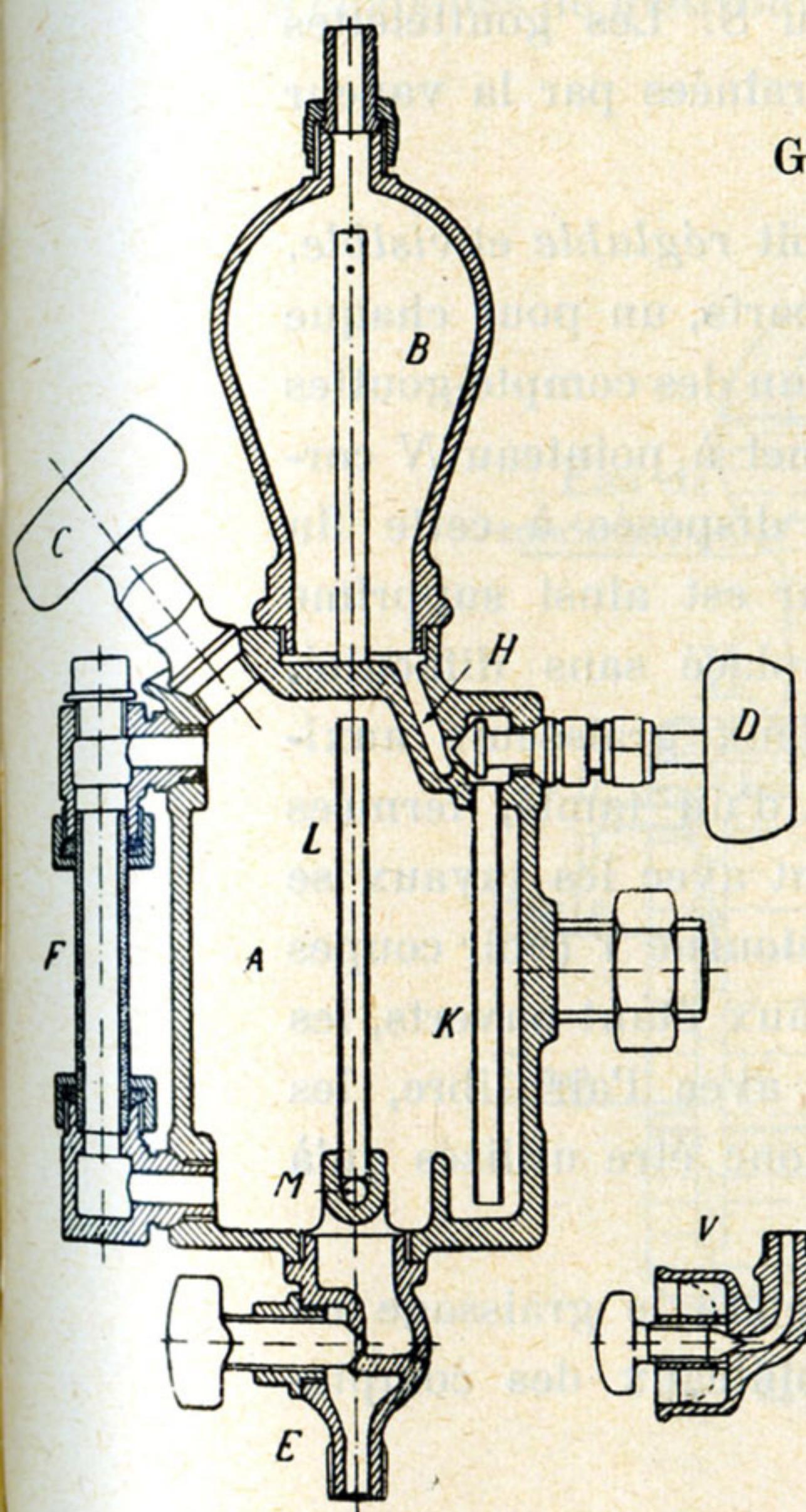


Fig. 549

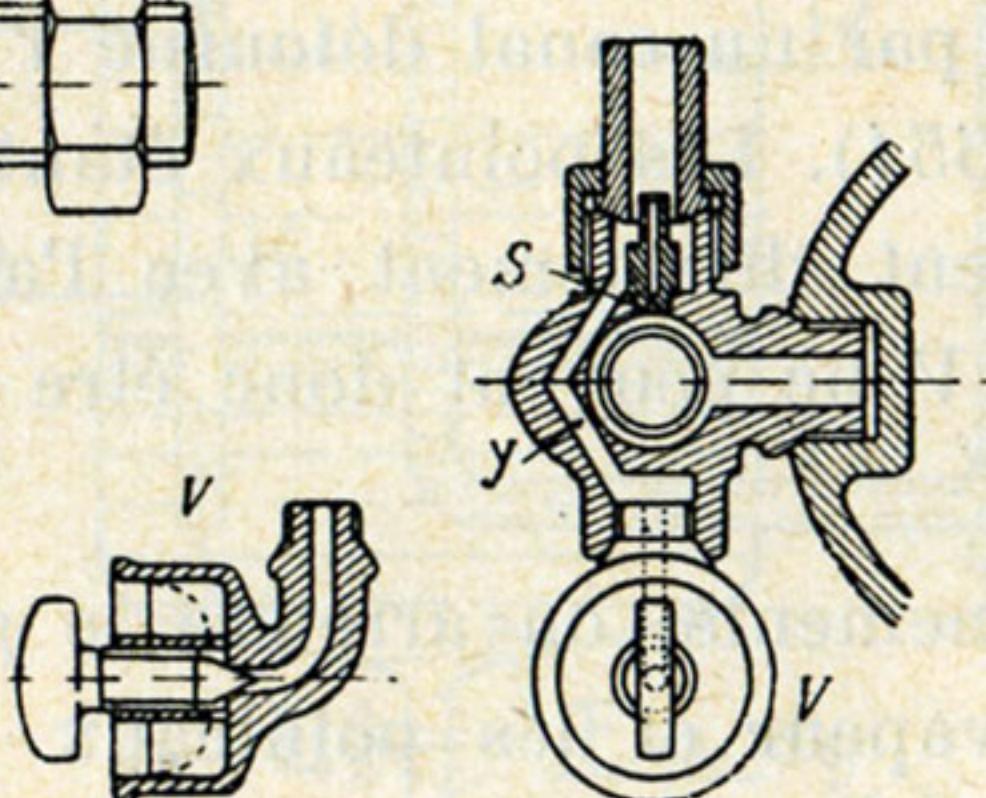


Fig. 550

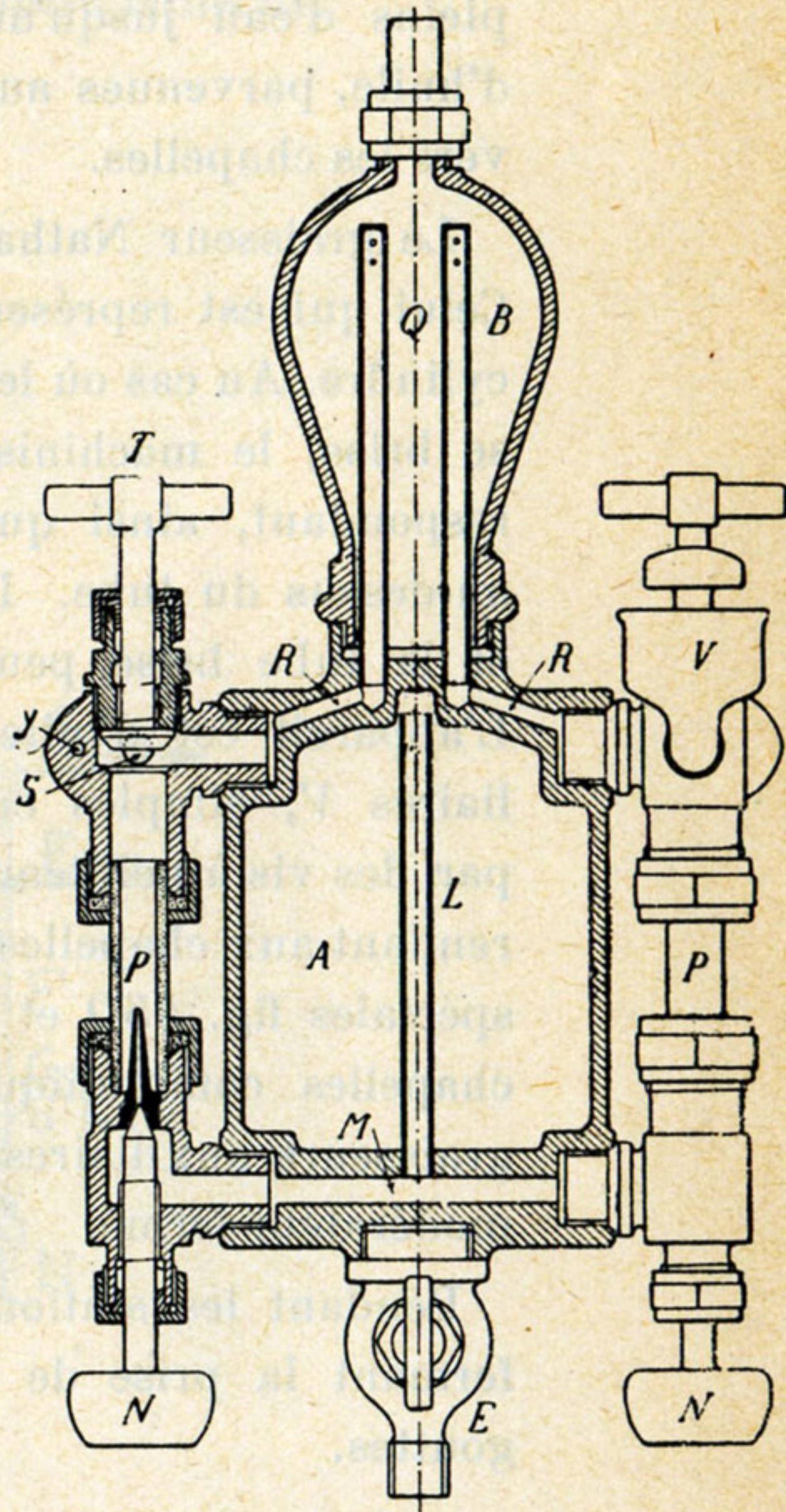


Fig. 551

Fig. 552

tubes de verre *P* sont pleins d'eau, de façon qu'on puisse voir monter une à une les gouttelettes d'huile qui se détachent des extrémités effilées.

Mais d'où vient l'eau contenue dans les tubes de verre *P*? Dans le condenseur *B* se trouvent deux tubes *Q* qui ne présentent d'autres ouvertures que les huit petits trous qu'on

distingue vers le haut. Ces trous sont au niveau maximum que l'eau de condensation peut atteindre dans la cloche *B*. La vapeur et, éventuellement, l'eau de condensation pénètrent par ces petits trous dans les tubes *Q*, s'écoulent par les canaux *R* dans les tubes de verre *P* et se rendent vers les chapelles de distribution par le trou *S*. Les tubes *P* sont donc normalement pleins d'eau jusqu'au niveau du trou *S*. Les gouttelettes d'huile, parvenues au trou *S*, sont entraînées par la vapeur vers les chapelles.

Le graisseur Nathan est donc à débit *réglable* et *visible*. Celui qui est représenté est à deux départs, un pour chaque cylindre. Au cas où le tube de verre d'un des compte-gouttes se brise, le machiniste ferme le robinet à pointeau *N* correspondant, ainsi que la soupape *T* disposée à cette fin au-dessus du tube. L'afflux de vapeur est ainsi supprimé et le tube brisé peut alors être remplacé sans difficulté. L'appareil est d'ailleurs pourvu de deux graisseurs auxiliaires *V*, simples cuvettes pourvues d'un tamis, fermées par des vis à pointeau et communiquant avec les tuyaux se rendant aux chapelles par un canal détourné *Y* (voir coupes spéciales fig. 550 et 551). Les pointeaux étant ouverts, les chapelles communiquent directement avec l'air libre, les graisseurs auxiliaires *V* ne peuvent donc être utilisés qu'à modérateur fermé.

Pendant les stationnements, on arrêtera le graissage en fermant la prise de vapeur et les pointeaux des compte-gouttes.

Si nous négligeons les détails de construction, nous pouvons exposer le fonctionnement du graisseur à condensation Nathan très simplement au moyen d'*une seule figure* (schéma fig. 553).

La vapeur venant de la chaudière se condense dans la boule *B*. L'excédent de vapeur non condensée se dirige vers les chapelles de distribution par le tube *Q*.

L'eau de condensation descend par le tube *K* dans le fond du réservoir *R* contenant l'huile.

Celle-ci, repoussée par l'eau dans le tube *LM*, passe au tube compte-gouttes en verre *F*, le débit étant réglé par le robinet à pointeau *N*.

Le mélange huile-vapeur se fait dans le tube *r* et part vers les chapelles de distribution, comme le montre la flèche.

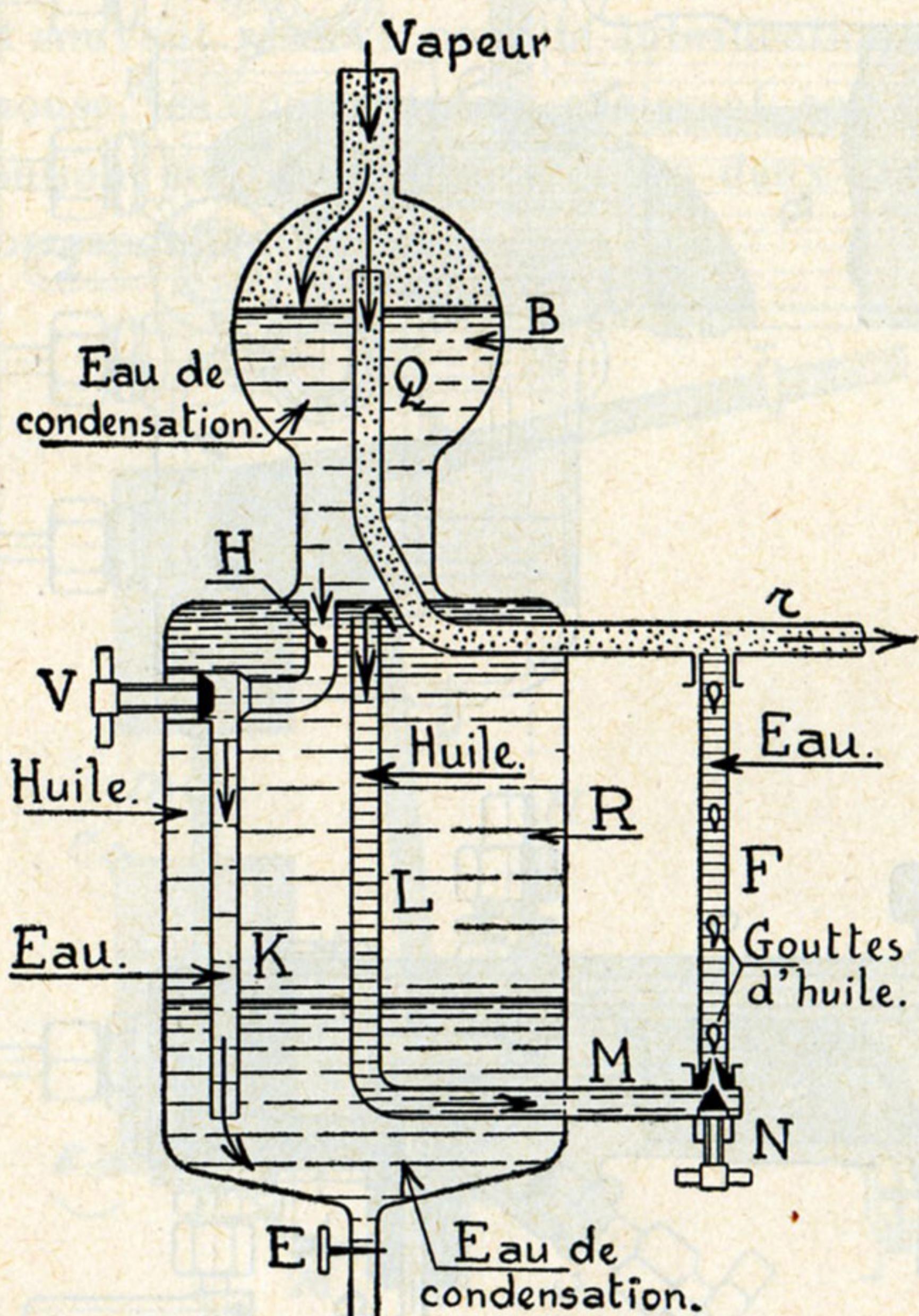


Fig. 553  
Schéma du graisseur à condensation Nathan.

Le tube *F* est rempli d'eau provenant de la condensation de la vapeur venant par *Q* et les gouttes d'huile cheminent par différence de densité de bas en haut.

4. — **Graisseur Détroit.** — Le graisseur Détroit, dont l'usage est assez répandu, est basé sur le même principe que le grais-

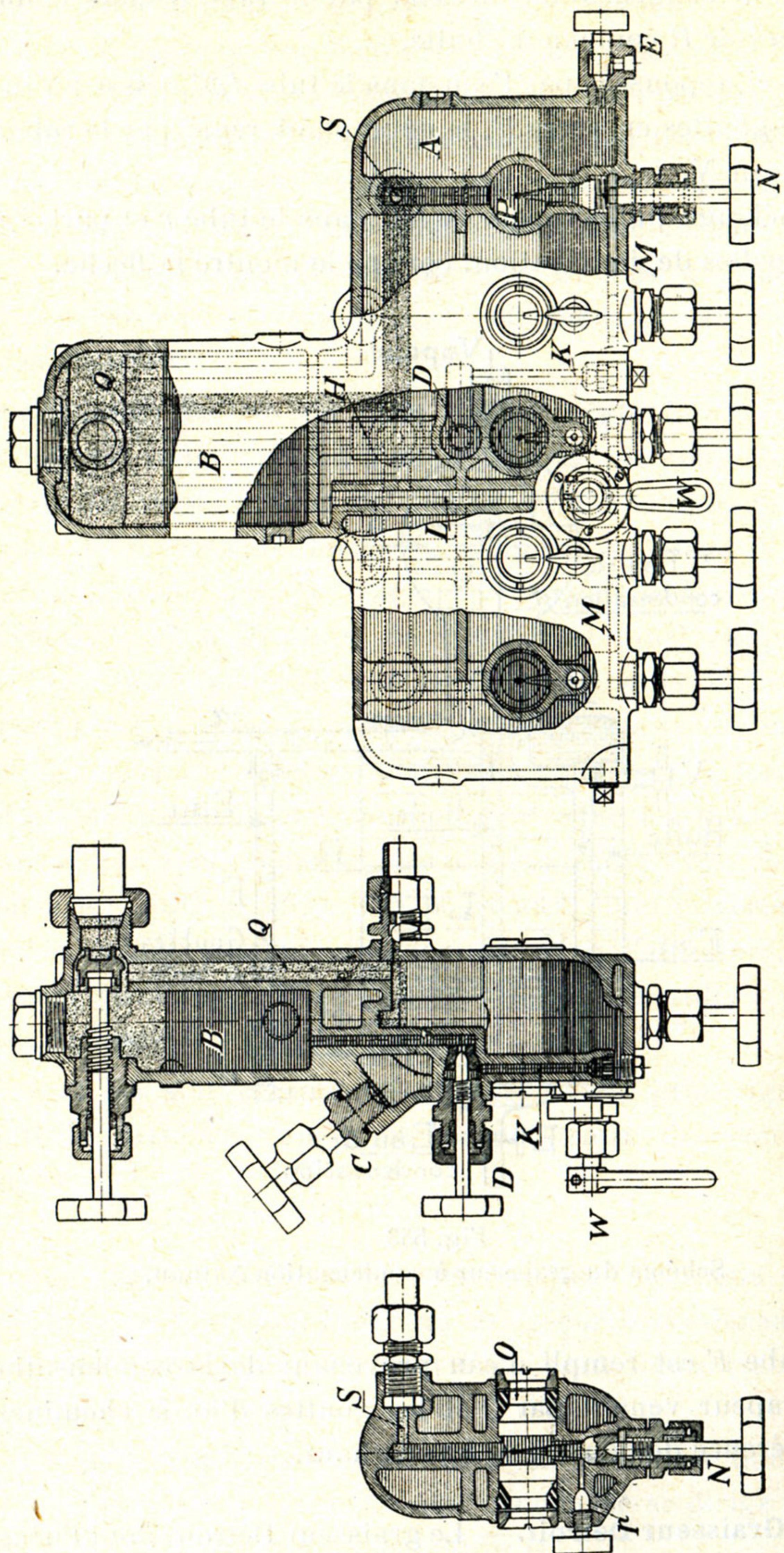


Fig. 554  
Graisseur à condensation système « Détroit ».

Fig. 555

Fig. 556

seur Nathan. On y retrouve les mêmes organes essentiels indiqués fig. 554 à 556 par les lettres correspondantes à celles des figures 549 à 552.

Les débits s'observent à travers deux disques en cristal *O* (fig. 554). Cette même figure montre comment on peut nettoyer l'intérieur de la chambre des débits visibles, contenant normalement de l'eau, en ouvrant le robinet de purge *p*.

Le graisseur Detroit représenté est à cinq départs, celui du milieu est souvent réservé pour la lubrification de la pompe Westinghouse, les quatre autres graissent, soit quatre tiroirs de distribution, soit deux tiroirs et les deux contretiges des pistons correspondants.

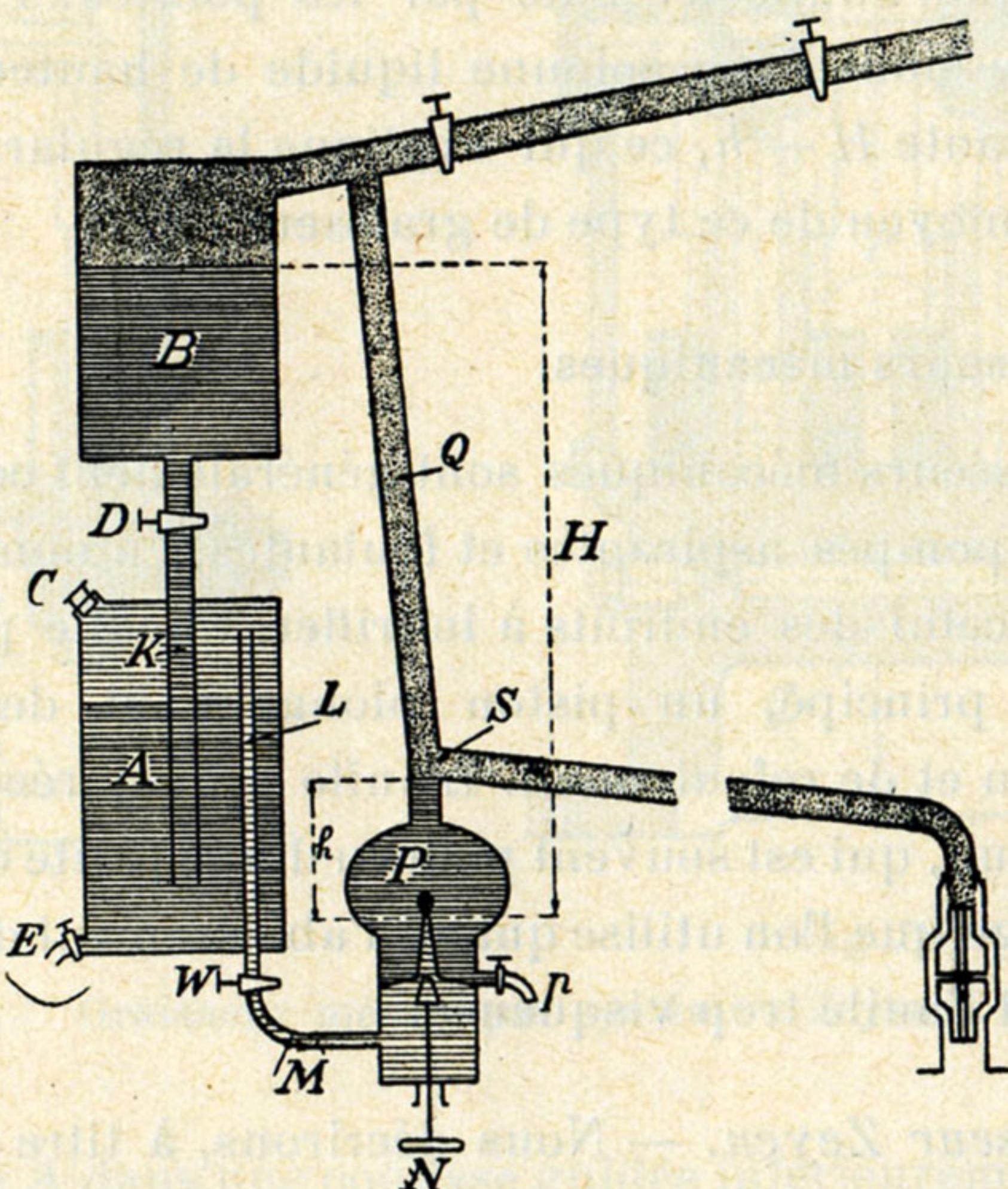


Fig. 557

Le robinet de commande du débit d'huile *W* (fig. 555 et 556) peut occuper différentes positions. Lorsque la poignée est dirigée vers le bas (c'est la position figurée), tous les canaux d'huile sont ouverts, les cinq départs débitent. Dans la position opposée, poignée tournée vers le haut, tout débit

est supprimé. Lorsque la poignée est placée horizontalement, seul le débit destiné à la pompe subsiste, les autres sont supprimés. C'est cette position que l'on adopte lorsque la locomotive est en stationnement. On évite ainsi une consommation d'huile inutile et ce résultat s'obtient sans devoir toucher aux pointeaux de réglage des débits. Il suffit de ramener la poignée du robinet vers le bas pour qu'immédiatement tous les débits soient rétablis, leur réglage étant conservé.

La figure 557 donne la disposition schématique du graisseur Detroit. Ce schéma permet de bien se rendre compte du fonctionnement qui a été décrit plus haut et il montre clairement, en outre, que l'huile s'écoule par les pointeaux de réglage sous la pression d'une colonne liquide de hauteur sensiblement constante  $H - h$ , ce qui explique la régularité du débit obtenu au moyen de ce type de graisseur.

### C. Graisseurs mécaniques.

Les graisseurs mécaniques sont généralement constitués de véritables pompes aspirantes et foulantes, en nombre correspondant à celui des endroits à lubrifier. Chaque pompe comporte, en principe, un piston plongeur et des soupapes d'aspiration et de refoulement. L'huile est aspirée d'un réservoir commun, qui est souvent pourvu d'une petite canalisation de chauffage que l'on utilise quand l'abaissement de la température rend l'huile trop visqueuse.

1. *Graisseur Zeyen.* — Nous décrirons, à titre d'exemple, le graisseur Zeyen (fig. 558 et 559).

Les différents pistons  $P$  des pompes sont actionnés par un même arbre  $A$  qui reçoit son mouvement de rotation à l'intervention d'un levier  $L$  agissant sur une roue à rochet  $R$ . Le levier  $L$  est attaqué à son tour par une pièce de la locomotive, animée d'un mouvement alternatif ou rotatif.

Chaque pompe comporte deux soupapes constituées de billes en acier, l'une pour l'aspiration, l'autre pour le refoulement.

L'huile contenue dans le réservoir commun est filtrée à travers un tamis *T* avant d'être aspirée par les pompes.

La canalisation de vapeur servant au chauffage s'observe en *C*.

Comme le montre la fig. 558, la levée et l'abaissement des pistons *P* sont obtenus par la rotation d'un excentrique calé

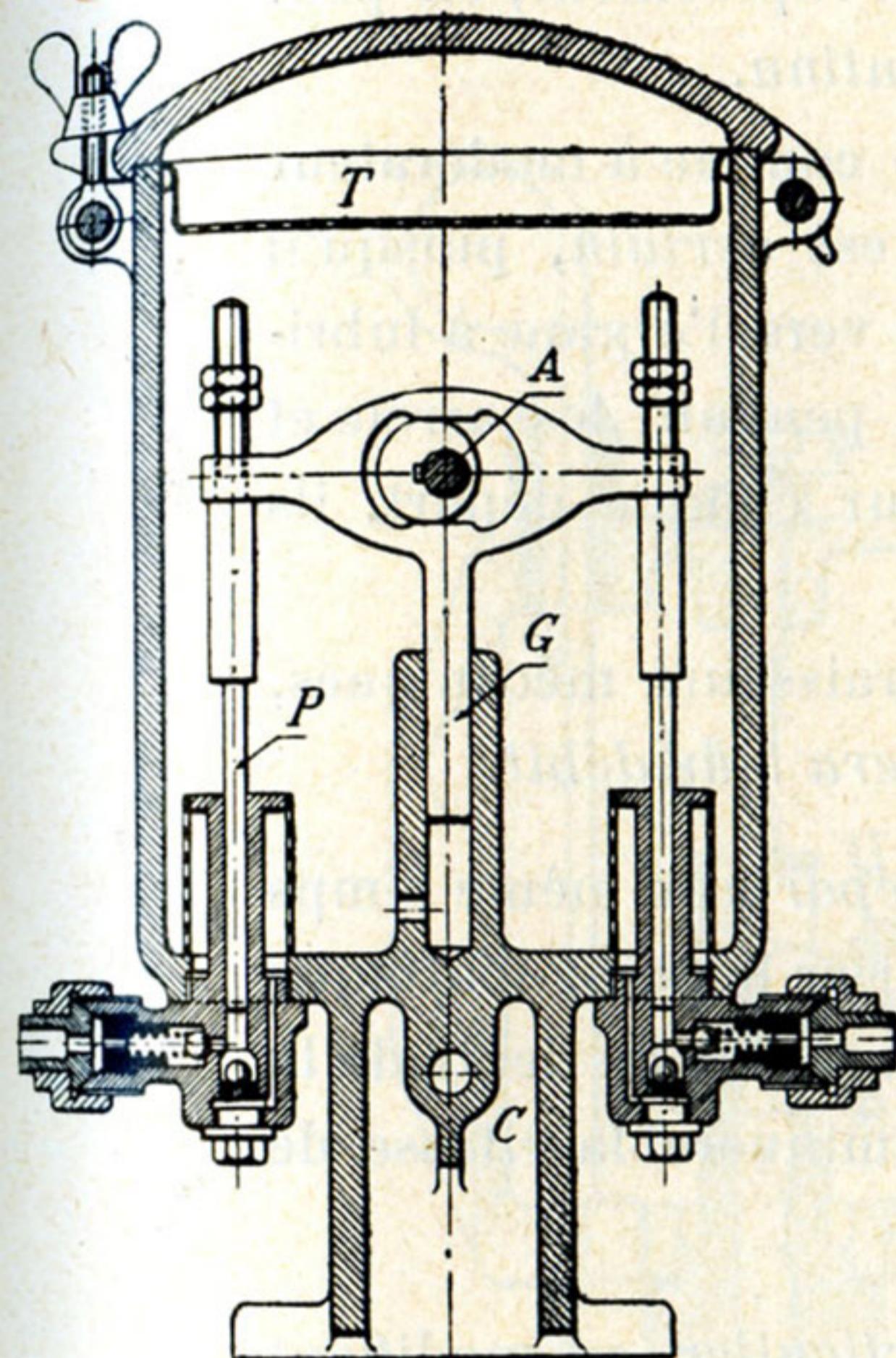


Fig. 558

Graisseur mécanique système « Zeyen ».

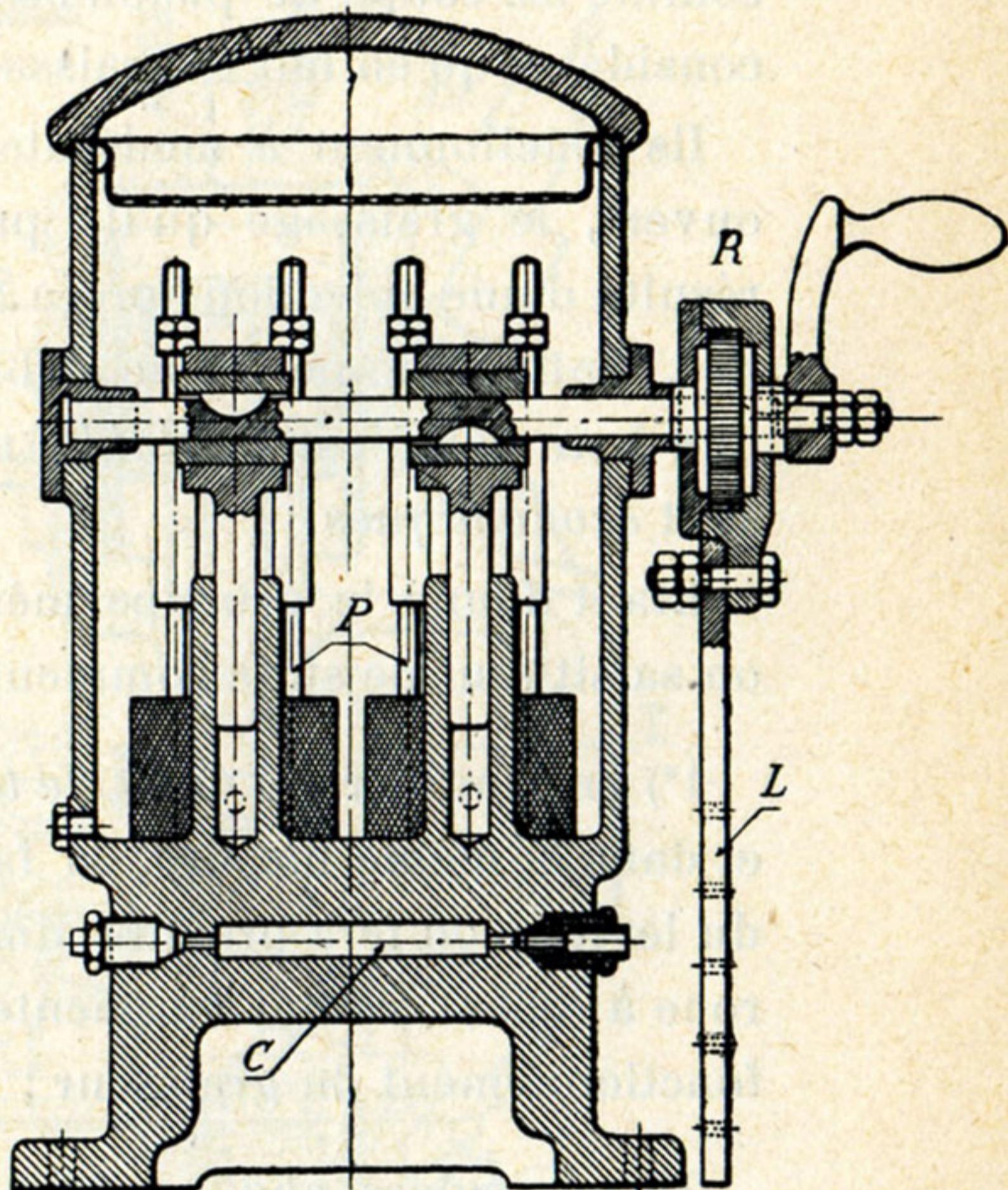


Fig. 559

sur l'arbre *A* dans une coulisse guidée inférieurement en *G*. La course verticale de la coulisse est constante, mais cette course ne se communique pas dans son entièreté aux pistons *P*, en raison du jeu qui existe entre les tiges de commande des pistons et les portées d'entraînement correspondantes de la coulisse. Ce jeu peut d'ailleurs être réglé depuis zéro jusqu'à une certaine valeur maximum, suivant la position donnée à l'écrou et au contre-écrou que l'on distingue sur la figure.

Le débit *par coup de piston* peut ainsi être réglé à volonté pour chaque pompe.

En raison de ce que le mouvement du levier de commande *L* est emprunté à une pièce mobile de la machine, le débit de ces graisseurs est proportionnel à la vitesse de celle-ci, ce qui n'est pas le cas pour les graisseurs à condensation. Le fonctionnement des graisseurs mécaniques est *automatique* et comme les coups de piston se succèdent rapidement, on peut considérer qu'en fait le graissage est *continu*.

Ils fonctionnent à modérateur fermé comme à modérateur ouvert, le graissage qu'ils procurent est *certain*, puisqu'il résulte d'une injection forcée de l'huile vers l'organe à lubrifier. Enfin, comme ils ne débitent pas pendant les arrêts et que leur débit est *régliable*, même pour chaque départ, ils sont *économiques*.

Etant donné le principe même des graisseurs mécaniques, on saisit tout de suite comment on réglera leur débit.

1°) on modifiera le débit *de tous les départs* en même temps et dans la même mesure, en faisant varier le point d'attaque du levier ; on fera prendre ainsi plus ou moins de dents de la roue à rochet, ce qui augmentera ou diminuera la vitesse de fonctionnement du graisseur ;

2°) on réglera *chaque départ en particulier*, en modifiant la course du piston correspondant.

Les graisseurs mécaniques se différencient les uns des autres principalement par le mode de production du mouvement alternatif des pistons, par la suppression plus ou moins complète des soupapes et leur remplacement par d'autres organes distributeurs tels que des pistons. Toutes choses égales, le plus simple, c'est-à-dire celui qui comportera le moins d'organes et dont le machiniste comprendra le plus aisément le fonctionnement, sera le meilleur.

2. *Graisseur Nathan pour pompe à air du frein Westinghouse.* — La pompe à air actionne elle-même son graisseur et,

bien que celui-ci doive être rangé parmi les graisseurs mécaniques, il fonctionne à proprement parler sans commande par liaison mécanique, en ce sens que c'est l'air lui-même qui provoque les mouvements de va-et-vient du piston graisseur.

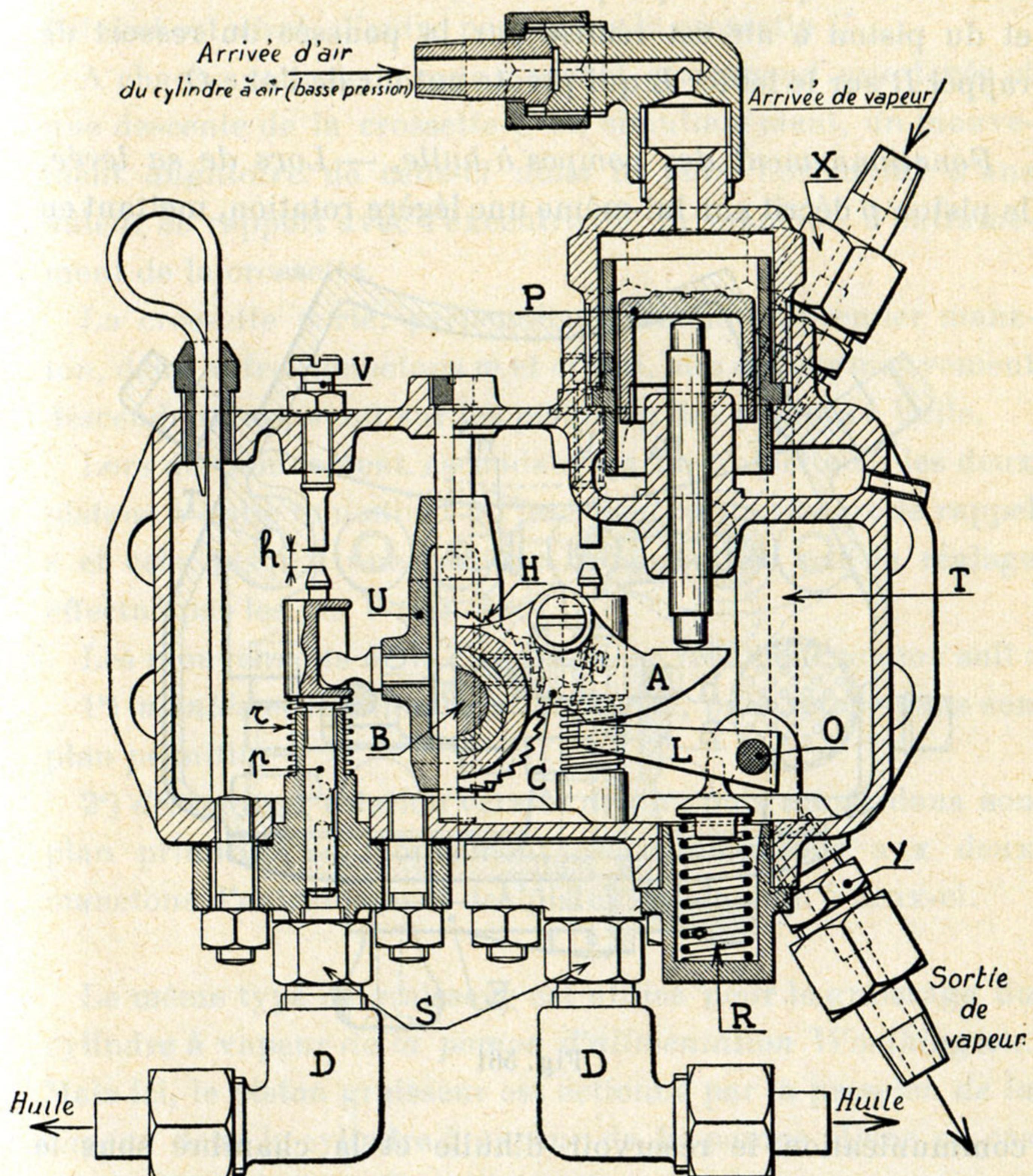


Fig. 560  
Graisseur Nathan pour pompe à air du frein Westinghouse.

*L'air comprimé, venant du cylindre à basse pression de la pompe à air, agit sur le piston P (fig. 560 et 561), celui-ci, par l'intermédiaire du levier à rochet A, assure la rotation de l'axe de commande des pompes à huile p.*

La tige du piston *P* pousse sur le levier *A* et provoque son basculement autour du centre *B* en entraînant le cliquet *C* qui donne à la roue à rochet une avance de deux dents.

Pour que la roue fasse un tour complet, il faut 18 pulsations semblables. Après chaque pulsation, le relèvement du levier *A* et du piston à air est réalisé par la poussée du ressort de rappel *R* sur le levier *L* qui pivote autour de l'axe *O*.

*Fonctionnement des pompes à huile.* — *Lors de sa levée*, le piston *p* décrit sur lui-même une légère rotation, mettant en

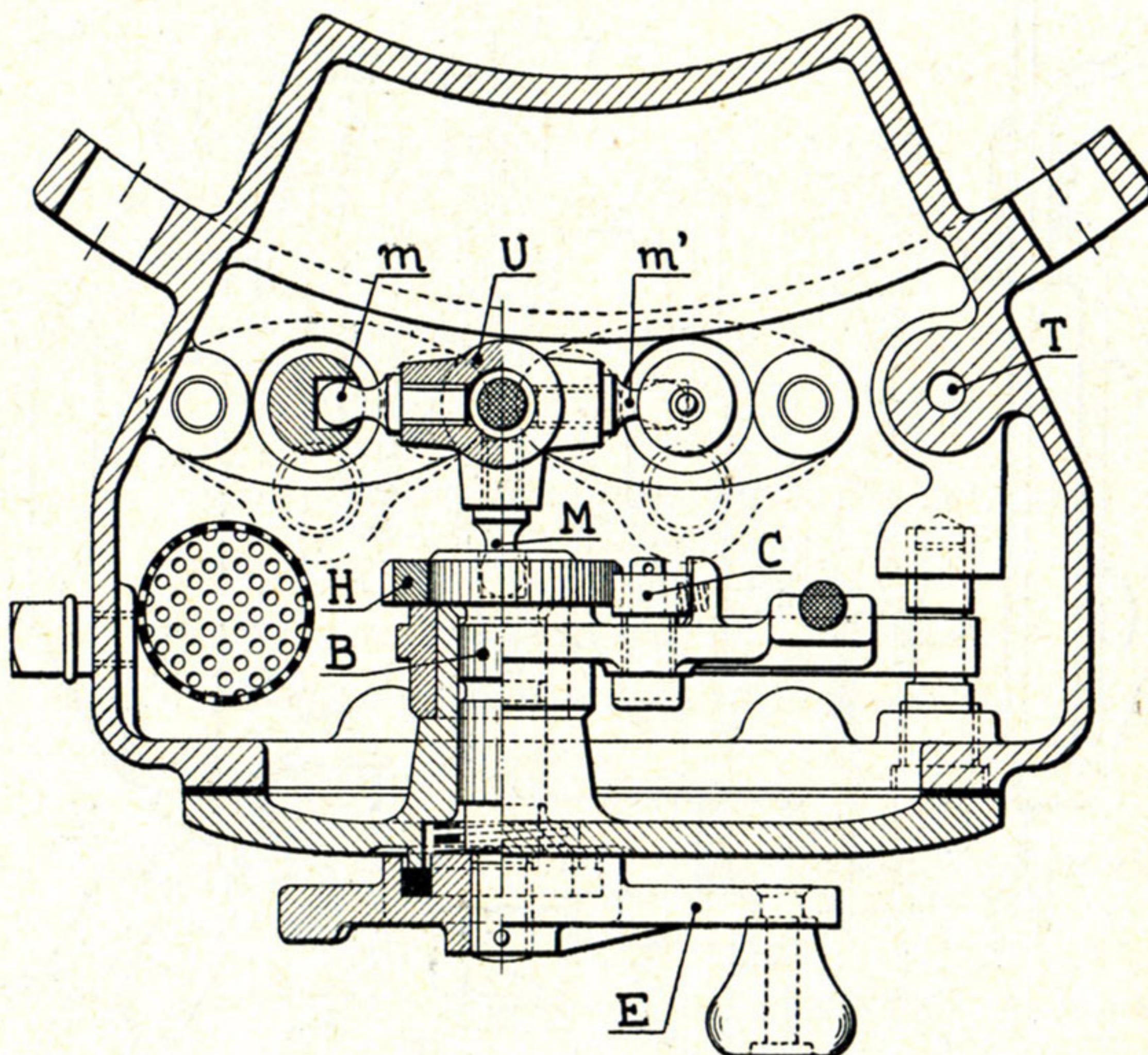


Fig. 561

communication le réservoir d'huile et la chambre sous le piston, il y a alors aspiration d'huile.

*Lors de sa descente*, le piston pivote dans le sens opposé et met la chambre sous le piston en communication avec le canal de départ, il y a alors refoulement d'huile.

L'huile est foulée vers les cylindres à lubrifier au travers d'une soupape de retenue du type à bille, empêchant tout retour de vapeur ou d'air vers le graisseur.

Le graisseur est traversé par un conduit de vapeur *XY*, assurant le réchauffage de l'huile.

Complétons cette description par quelques détails.

L'axe de la roue à rochet *H* comporte une cavité *excentrée* dans laquelle est logé un maneton d'entraînement *M* (fig. 561). Celui-ci est vissé, d'autre part, dans la cosslette *U*.

A chaque tour de la roue à rochet correspond une levée et une descente de la cosslette *U* et, simultanément, un mouvement *angulaire* de celle-ci *dans le plan horizontal* d'une valeur en rapport avec l'excentricité du maneton d'entraînement de la cosslette.

La cosslette porte, perpendiculairement au premier maneton, deux autres manetons *m* et *m'* qui, lors de leur mouvement descendant, appuient sur les pistons *p* des pompes à huile.

Lors du mouvement ascendant de la cosslette *U*, les deux pistons à huile remontent à l'intervention du ressort de rappel *r* et cela, jusqu'à une hauteur *h* déterminée par le réglage effectué par les vis *V* (fig. 560).

Les mouvements de la cosslette *U* se résument comme suit :

1°) *montée et rotation vers la gauche*, puis retour dans son plan primitif ;

2°) *descente et rotation vers la droite*, puis retour dans son plan primitif. Le mouvement est communiqué aux deux manetons d'entraînement des pistons *p* ainsi qu'à ceux-ci.

Le même type de graisseur est utilisé pour le graissage du cylindre à vapeur *de la pompe d'alimentation Worthington*. Mais ici, le piston graisseur est actionné par la pression *de la vapeur* dans le cylindre à vapeur de la pompe. Dans ce cas particulier, le piston *P* est de section réduite.

Le graisseur *de la pompe d'alimentation ACFI*, bien que de construction différente, est basé sur le même principe, avec cette particularité que c'est la *pression d'eau* au refoulement qui actionne le piston.

#### D. Soupapes ou clapets de retenue.

Avec les graisseurs mécaniques, il faut placer le plus près possible du point à graisser, des soupapes ou des clapets qui empêchent la canalisation de se vider, soit sous l'effet de la pesanteur, soit sous l'influence des retours de vapeur dans ces canalisations.

Ce point est très important. Rappelons-nous, en effet, que le débit normal d'huile est très faible et que, par conséquent, il faut un temps relativement très long pour remplir les tuyaux de graissage si ceux-ci viennent à se vider.

S'il n'y avait pas de soupape de retenue ou si celle-ci n'était pas étanche, il faudrait parcourir un nombre de kilomètres, parfois très important, avant que l'huile ne revienne aux points à graisser.

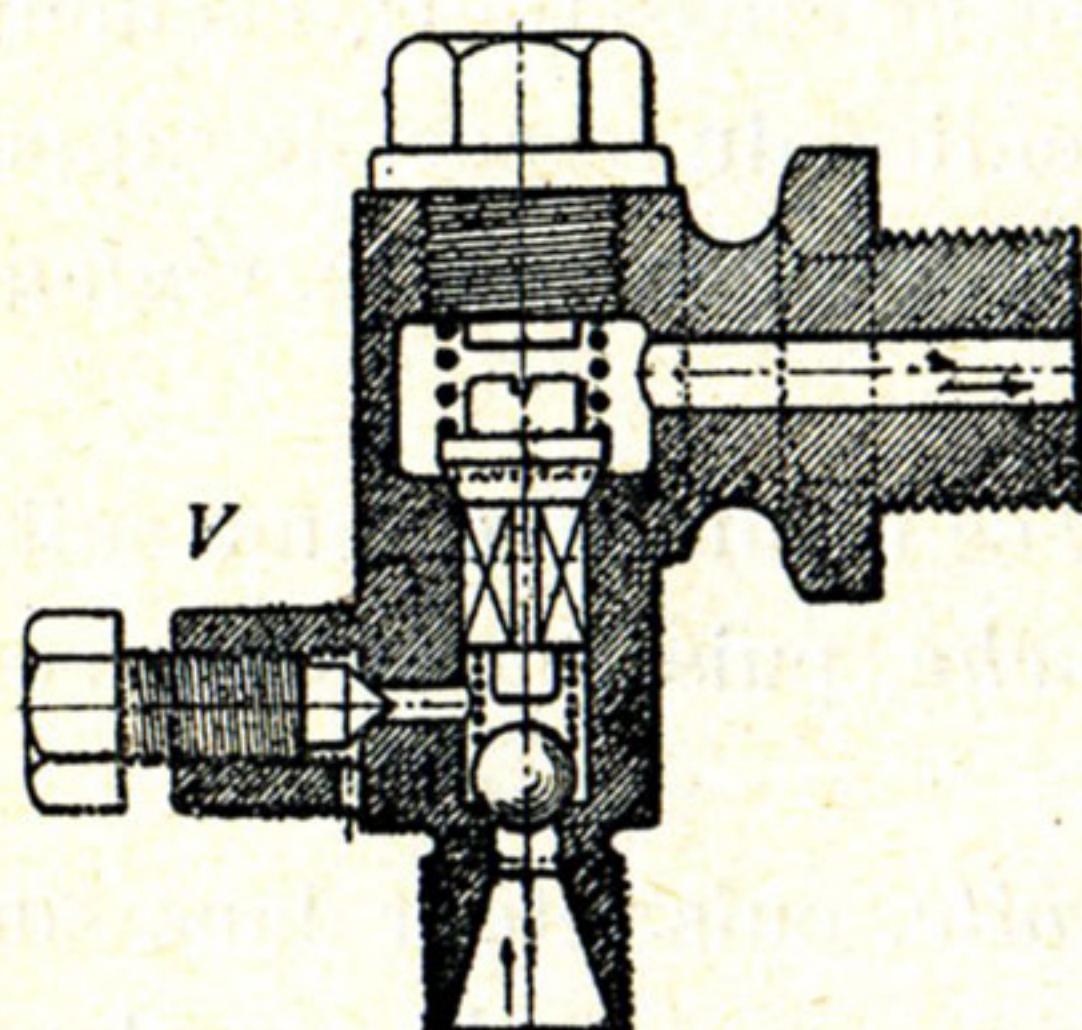


Fig. 562. — Soupape de retenue pour graisseur mécanique.

Le petit robinet de contrôle *V* permet de s'assurer du fonctionnement du graisseur. On l'ouvre à cet effet et on fait fonctionner le graisseur au moyen de la manivelle que l'on voit sur la figure 559. Il est d'ailleurs recommandé, à la prise de service, de faire fonctionner le graisseur à la main pour remplir d'huile toute la tuyauterie.

*Soupape de retenue « Olva » pour graisseurs mécaniques.* — L'huile de graissage, foulée sous pression par le graisseur mécanique, pénètre en *A* (fig. 563) et sort par *B* vers le cylindre à lubrifier.

L'ouverture *O* est plus ou moins découverte selon la position du pointeau *P*.

La soupape de retenue (fig. 562) se soulève en marche sous la pression de l'huile, elle se ferme sous la pression d'un ressort quand le graisseur s'arrête; elle sert à empêcher que le tuyau se vide de l'huile qu'il contient, ce tube doit toujours rester plein.

Le petit robinet de contrôle *V* permet de s'assurer du fonctionnement du graisseur. On l'ouvre

Le pointeau est solidaire d'un diaphragme (dessiné en noir) pressé par le ressort  $R$ .

Sous la pression de l'huile, le ressort *R* se comprime, le diaphragme se soulève, entraîne le pointeau qui démasque l'ouverture *O* du départ vers *B*. L'huile sous pression repousse la soupape *s* et sort par *B*.

S'il se produisait un retour de vapeur des cylindres au graisseur, cette vapeur s'y condenserait. Mais un retour de vapeur des cylindres est impossible pour deux raisons :

2°) la soupape  $s$  est refoulée de bas en haut sur son siège par le ressort  $r$  et, aussi, par la pression qui règne dans le cylindre.

La soupape d'arrêt étant bien étanche, il est dès lors inutile de tourner la manivelle du graisseur pour amorcer le graissage avant le commencement du parcours de la locomotive.

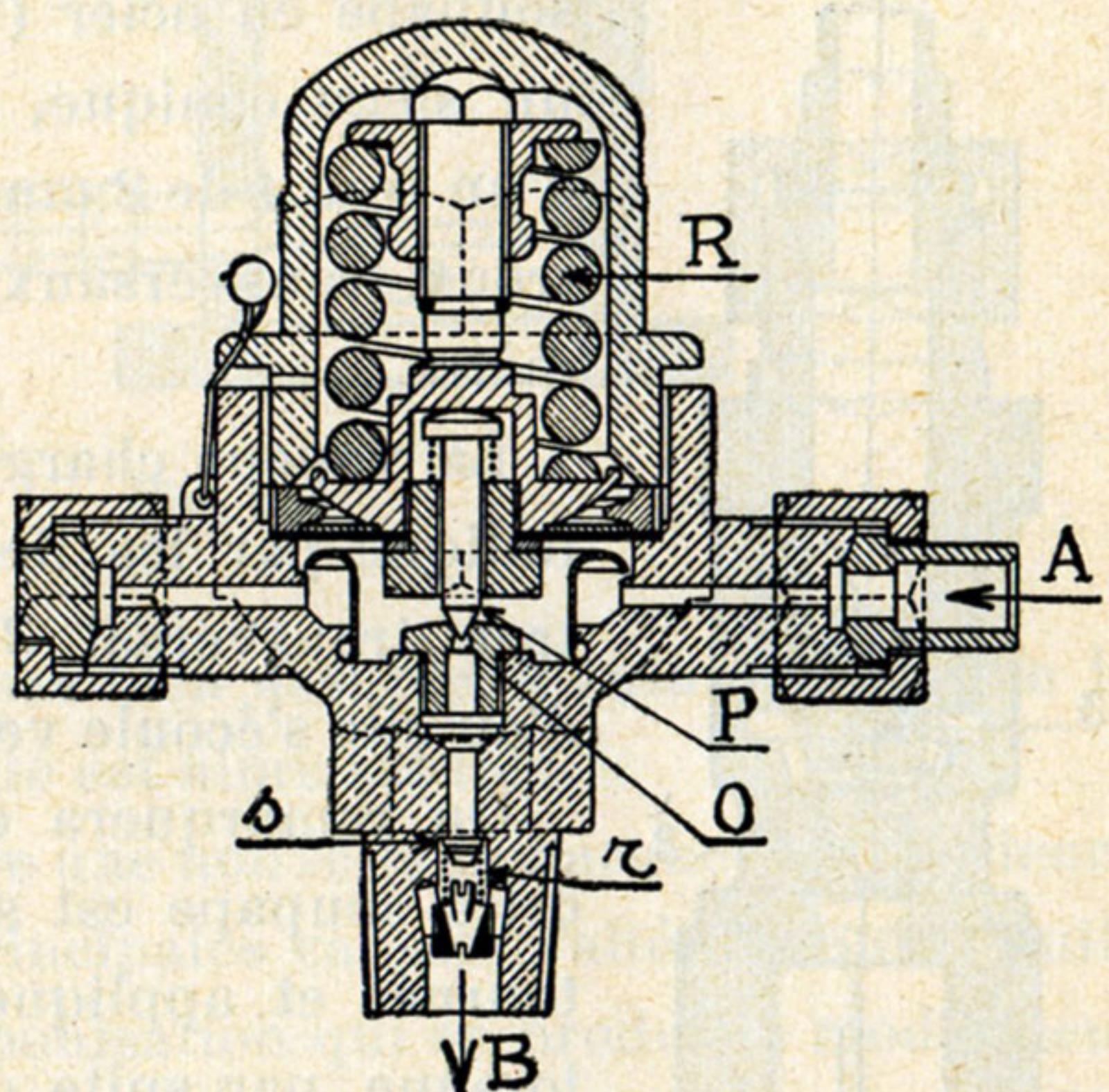


Fig. 563. — Soupape de retenue « Olva ».

## E. Introduction de l'huile dans le milieu à graisser.

Nous avons vu que l'huile livrée par les graisseurs à condensation est emportée, au départ du graisseur, par un courant de vapeur se dirigeant, par exemple, vers une chapelle de distribution. Afin de régulariser ce courant tout en soustrayant la capacité intérieure  $B$  (fig. 549, 552, 553, 555, 556) du graisseur aux variations de pression importantes qui se produisent

dans les chapelles, le jet de vapeur chargé d'huile est obligé de traverser un orifice de petit diamètre ou diaphragme situé en S dans le graisseur Nathan (fig. 551). Dans le graisseur Détroit, la pièce formant diaphragme est placée à proximité

de l'endroit à graisser ; elle comporte une soupape en acier (fig. 564) appliquée sur un siège conique, forée suivant son axe d'un trou 1 de 2 mm de diamètre et de deux trous transversaux 2 et 3 de même diamètre.

La vapeur chargée d'huile suit le trajet indiqué par les flèches et se rend par le trou transversal 3 vers le trou central, d'où elle s'écoule vers la chapelle.

On remarquera que la construction de cette soupape est symétrique, elle est retournée et appliquée sur le siège opposé lorsque, par suite d'usure, le diamètre du trou de passage s'est agrandi au-delà de la limite admissible, soit  $2 \frac{3}{4}$  mm.

Le mode d'introduction de l'huile dans le milieu à graisser appelle certaines remarques. Il est de règle actuellement d'introduire l'huile au sein même de la vapeur, à son entrée dans la chapelle (fig. 565). Elle y pénètre par une broche creuse *B*, dont le détail est donné figures 566 et 567, terminée par une partie aplatie et présentant deux fentes longitudinales, formant en quelque sorte une grille.

La vapeur affluant en *V* des tuyaux de livrancé vers les chapelles est animée d'une grande vitesse, ce qui permet en raison de la forme spéciale donnée à l'extrémité de la broche d'introduction de l'huile, d'amener celle-ci à un état de division extrême, de la pulvériser en quelque sorte.

Ces conditions de fonctionnement sont extrêmement favorables, elles réalisent la lubrification par la vapeur elle-même, elles permettent de ne graisser un cylindre à vapeur chauffée qu'en un seul endroit, à l'entrée des chapelles, ce qui simplifie notablement la question du graissage.

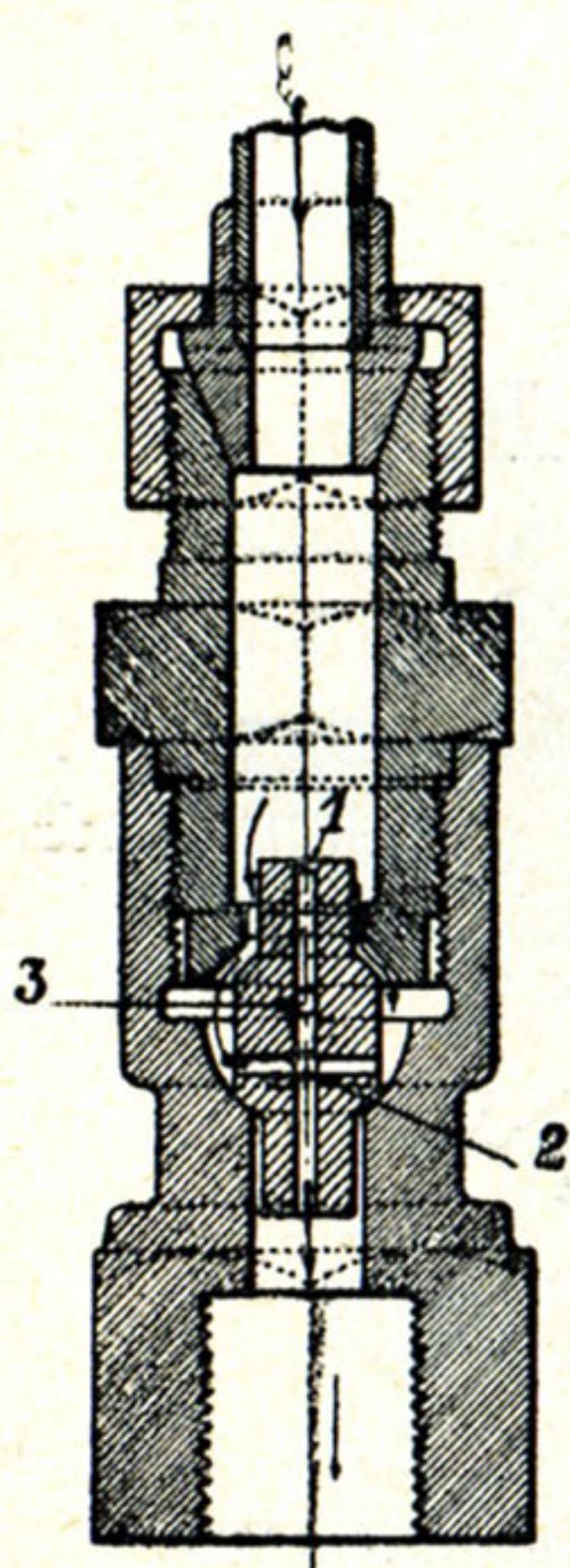


Fig. 564

Ce qui vient d'être exposé est relatif à la marche à modérateur ouvert ; à modérateur fermé, l'afflux de vapeur aux cylindres cesse, mais l'huile est cependant toujours véhiculée par la vapeur venant du graisseur à condensation. La lubrifi-

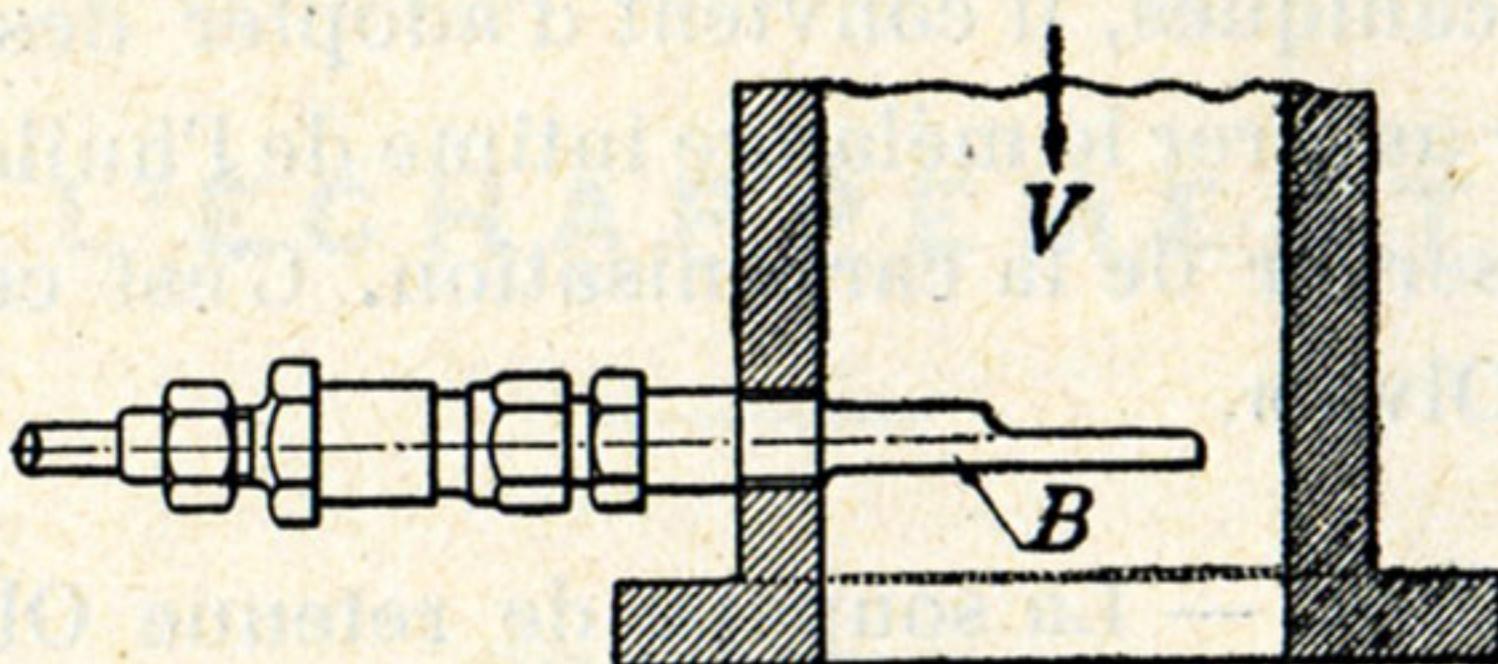


Fig. 565

cation reste donc toujours bien assurée, d'autant plus que la vapeur qui amène l'huile est alors saturée.

Il convient ici de faire une nouvelle remarque. L'expérience a montré qu'une des principales causes d'altération de l'huile de graissage est sa carbonisation qui se produit à modérateur fermé, lorsque les gaz de la boîte à fumée pénètrent dans les

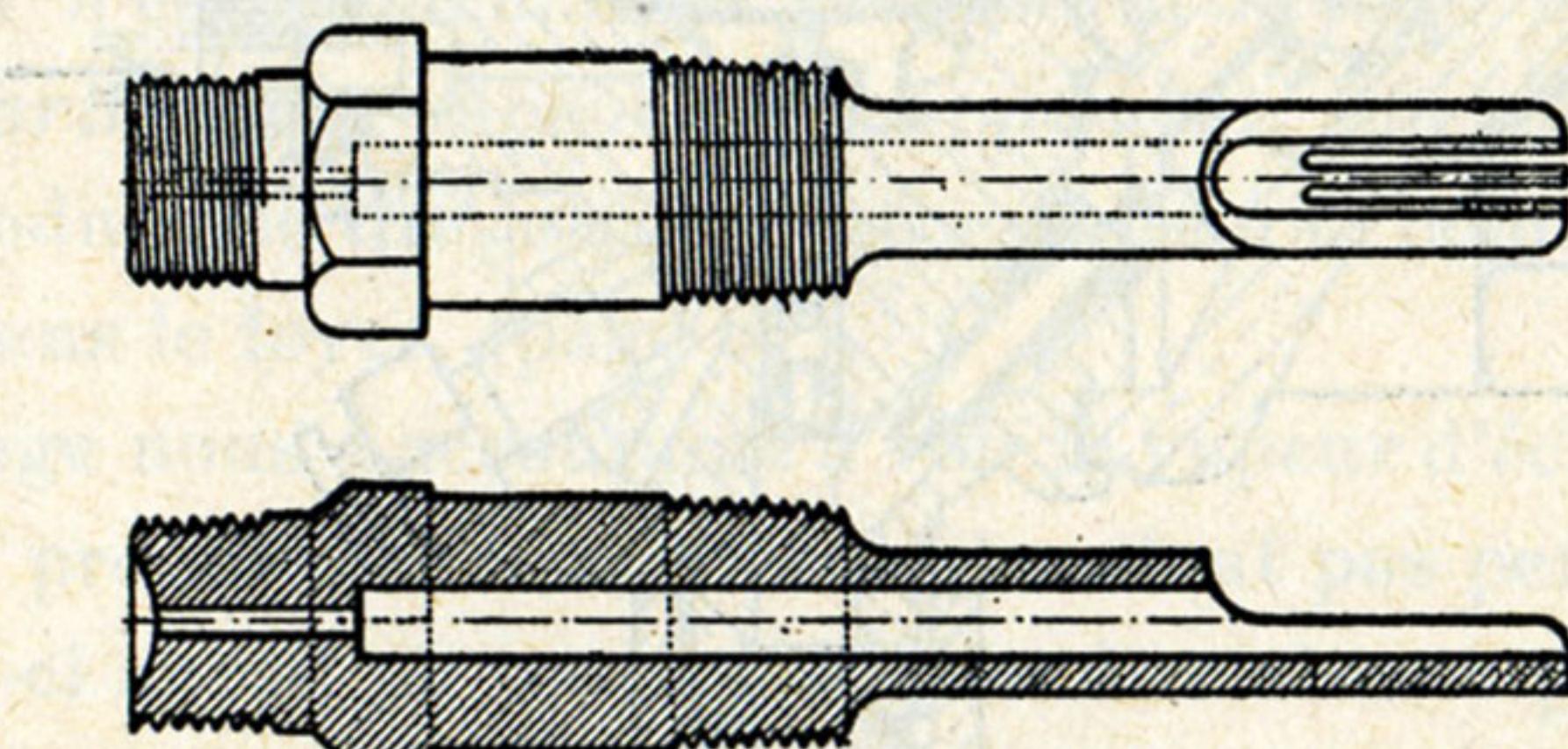


Fig. 566 et 567

cylindres qui sont à haute température. L'huile étant amenée du graisseur à condensation par un jet de vapeur, celui-ci s'oppose à la formation d'un vide dans la chapelle et par conséquent à la pénétration des gaz. L'huile est ainsi préservée dans une certaine mesure de la carbonisation.

Si, comme on le fait actuellement, la machine est pourvue de reniflards à injection de vapeur, la préservation de l'huile contre la carbonisation n'en est que plus efficace.

Ce qui précède explique la préférence qui a été donnée aux graisseurs à condensation pour la lubrification des tiroirs et cylindres.

Lorsque le graissage de ces organes se fait au moyen de graisseurs mécaniques, il convient d'adopter des dispositions spéciales pour assurer le mélange intime de l'huile à la vapeur et pour la préserver de la carbonisation. C'est ce que réalise l'« atomiseur Olva ».

*Atomiseur Olva.* — La soupape de retenue Olva (fig. 563) peut être combinée avec une injection de vapeur (fig. 568). L'ensemble porte alors le nom d'atomiseur.

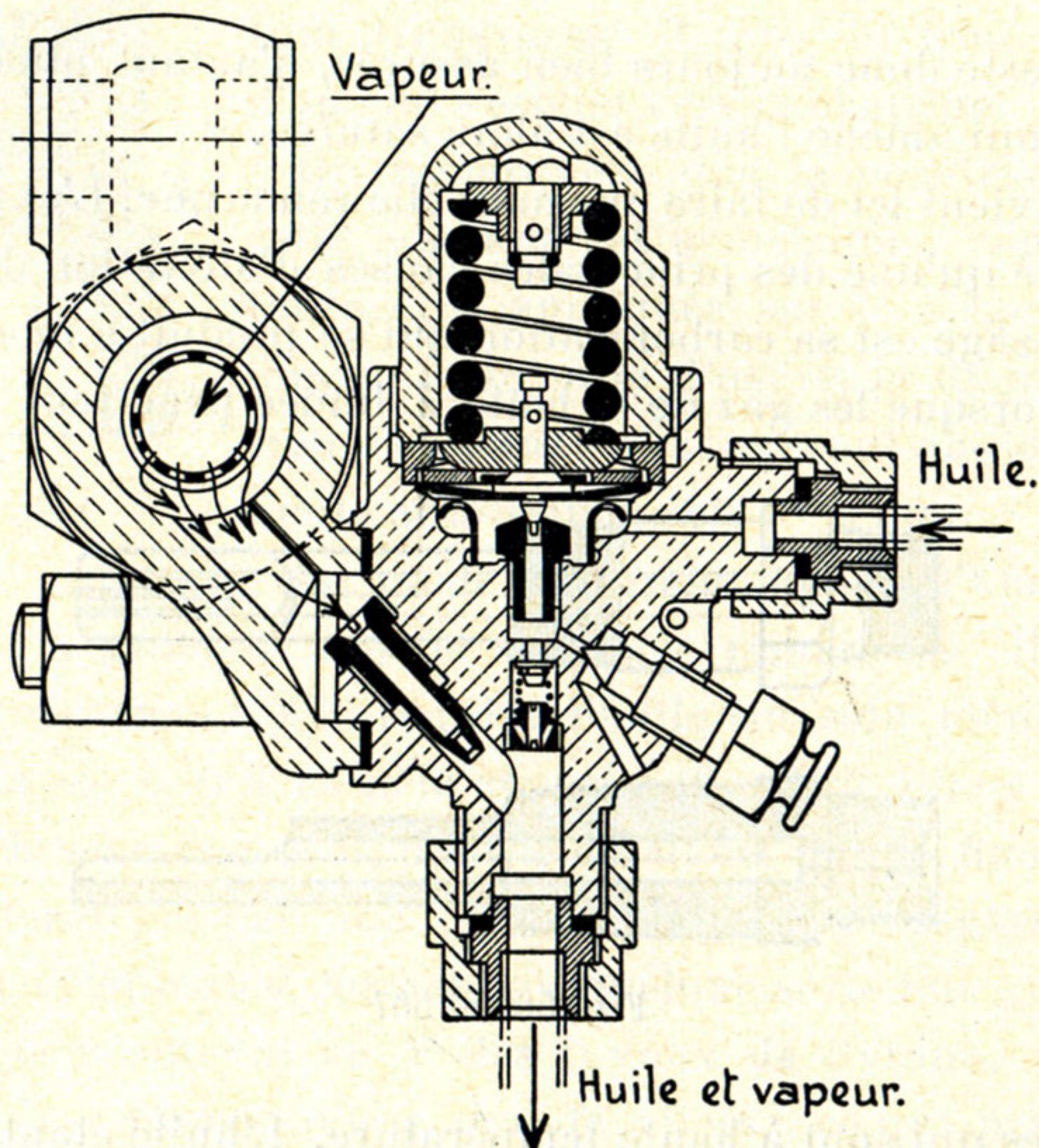


Fig. 568. — Atomiseur Olva.

La vapeur entre suivant la flèche, traverse un filtre cylindrique comme le montrent les flèches multiples, passe ensuite par un gicleur et entraîne finalement l'huile vers les cylindres *en la pulvérisant*.

## QUATRIÈME PARTIE

---

### L'ÉCHAPPEMENT

---

#### CHAPITRE I

## MÉCANISME DE L'ÉCHAPPEMENT

**1. La vapeur usagée qui sort des cylindres peut-elle encore servir à quelque chose ?** — Nous avons vu (page 115) qu'on peut en utiliser une partie :

- 1<sup>o</sup>) pour faire fonctionner les injecteurs ;
- 2<sup>o</sup>) pour réchauffer l'eau d'alimentation.

Mais il n'est évidemment possible d'affecter à cet usage qu'une *partie* de la vapeur d'échappement, son rôle principal est de produire le tirage *forcé* nécessaire à la combustion qui s'opère dans le foyer. (page 97).

Si l'usage nous a accoutumé à voir la vapeur d'échappement utilisée à produire ce tirage forcé, il ne faut pas perdre de vue que celui-ci aurait pu tout aussi bien être obtenu par d'autres moyens ; par exemple, en employant un ventilateur ou en dirigeant dans la cheminée un jet de vapeur vive ; mais ces procédés auraient été coûteux et l'on ne pouvait certes être mieux inspiré qu'en recourant pour cet usage à la vapeur de décharge, sans emploi et produite en quantité d'autant plus grande que la locomotive développe plus d'effort.

**2. Comment la vapeur de décharge des cylindres produit-elle le tirage forcé ?** — Les tuyaux de décharge venant des cylindres se réunissent dans la boîte à fumée de manière à ne

plus former qu'un tuyau unique, dont l'ouverture débouche dans l'axe de la cheminée (fig. 569).

La vapeur, sortant à une très grande vitesse par la cheminée, entraîne les gaz qui l'entourent et qui remplissent la boîte à fumée. Ce départ des gaz crée dans la boîte à fumée un certain vide, c'est-à-dire que la pression y devient moindre que la pression atmosphérique ; cette diminution de pression ou cette *dépression*, comme on l'appelle encore, se propage en s'affaiblissant quelque peu à travers la tubulure jusqu'à dans

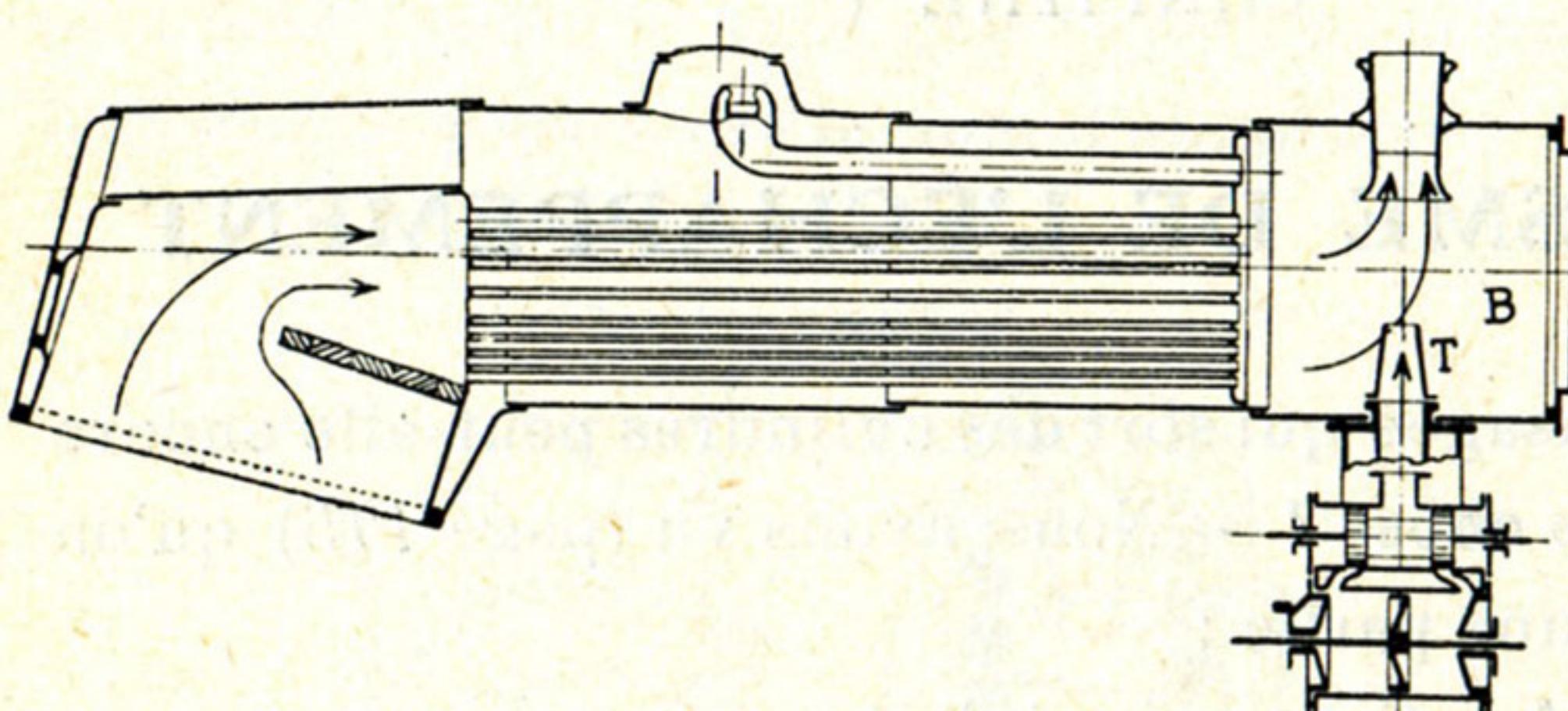


Fig. 569  
Mécanisme de l'échappement

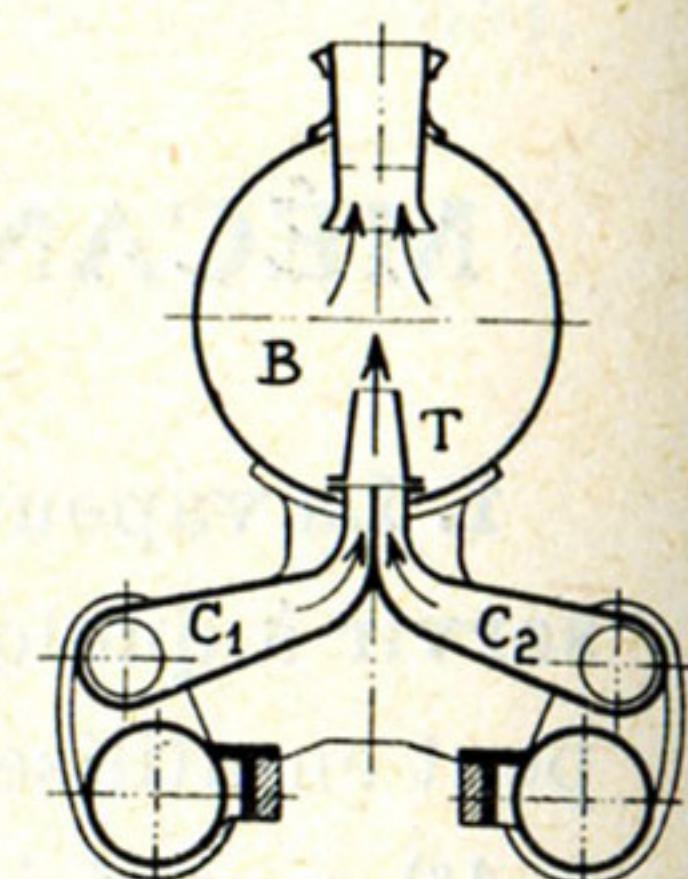


Fig. 570

le foyer. Il en résulte que l'air extérieur, aspiré par la dépression atmosphérique, filtre à travers la grille, traverse le combustible en le brûlant ; les gaz résultant de cette combustion s'engouffrent à travers la tubulure, débouchent dans la boîte à fumée et là, sont entraînés au dehors par la vapeur de décharge. Tel est le mécanisme de l'échappement.

Le tirage forcé ainsi obtenu ne coûterait rien, si la vapeur sortant du tuyau de décharge était à la pression atmosphérique, mais nous allons voir qu'il ne peut en être ainsi.

Il est clair que, pour un même poids de vapeur rejeté par l'échappement, l'entraînement des gaz est d'autant plus énergique que la vapeur sort avec une vitesse plus grande par la décharge. Or, cette vitesse elle-même sera d'autant plus forte que la pression de la vapeur d'échappement sera supérieure à la pression atmosphérique, car, si elle lui était égale, la vapeur se dissiperait sans vitesse à l'air extérieur.

Cet excédent de pression et la vitesse qui en résulte s'obtiennent en étranglant le tuyau d'échappement. On comprend, en effet, qu'à vitesse de piston égale, pour que le débit de vapeur reste le même quand la section du tuyau d'échappement est réduite, par exemple, de moitié, la vitesse doit forcément devenir double (ceci ne serait toutefois rigoureusement exact que si la vapeur était incompressible, ce qui n'est pas).

Mais dès qu'on rétrécit de la sorte le tuyau de décharge, le piston refoule beaucoup plus difficilement la vapeur dans l'échappement ; les choses se passent comme si le tuyau de décharge se terminait par un robinet incomplètement ouvert, le piston devra naturellement faire un effort plus grand pour pousser la vapeur au dehors que si ce robinet était ouvert en grand. La résistance qui s'oppose ainsi au mouvement du piston constitue une *contre-pression* ; celle-ci, d'autant plus forte qu'on étrangle davantage la décharge, diminue le travail utile que la vapeur vive produit sur les pistons.

*En résumé, l'étranglement de la décharge augmente le tirage, ce qui est un avantage du côté vaporisation de la chaudière, mais crée une contre-pression sur les pistons, ce qui est une perte de puissance du côté moteur.*

Nous en concluons que le système le meilleur sera celui qui produira la dépression nécessaire dans la boîte à fumée avec la contre-pression la plus faible sur les pistons.

La contre-pression se mesure par l'excédent de pression de la vapeur de décharge sur la pression atmosphérique ; elle varie de 150 grammes par  $\text{cm}^2$  à 500 gr/cm<sup>2</sup>, selon que l'on marche à faible allure ou que l'on force celle-ci. Il arrive qu'elle atteigne 800 gr/cm<sup>2</sup>.

La contre-pression qui résulte du rétrécissement de la tuyère constitue la pression motrice qui force la vapeur usagée à pénétrer dans l'atmosphère avec une certaine vitesse et c'est cette vitesse qui provoque l'aspiration des gaz du foyer.

La valeur de la dépression s'exprime généralement par la

dénivellation  $d$  qu'elle produit sur l'eau contenue dans un tube en verre courbé en forme d'U, ouvert aux deux bouts et monté sur la boîte à fumée comme l'indique la figure 571.

Au repos, la dépression étant nulle (ou à peu près nulle), le niveau de l'eau est le même que dans les deux branches, il correspond au zéro.

En marche, la pression atmosphérique extérieure l'emporte sur la pression qui existe dans la boîte à fumée, fait descendre l'eau dans la branche A et la fait monter dans la branche B.

Si l'on mesure le nombre  $h$  de mm de la colonne d'eau à partir du zéro, la dépression  $d$  sera double, c'est-à-dire égale à  $2h$  mm.

Il faut avoir soin d'assurer l'étanchéité du joint du tube à la traversée de la tôle de la boîte à fumée au moyen d'une bague en caoutchouc.

La valeur convenable à obtenir pour la dépression dépend :

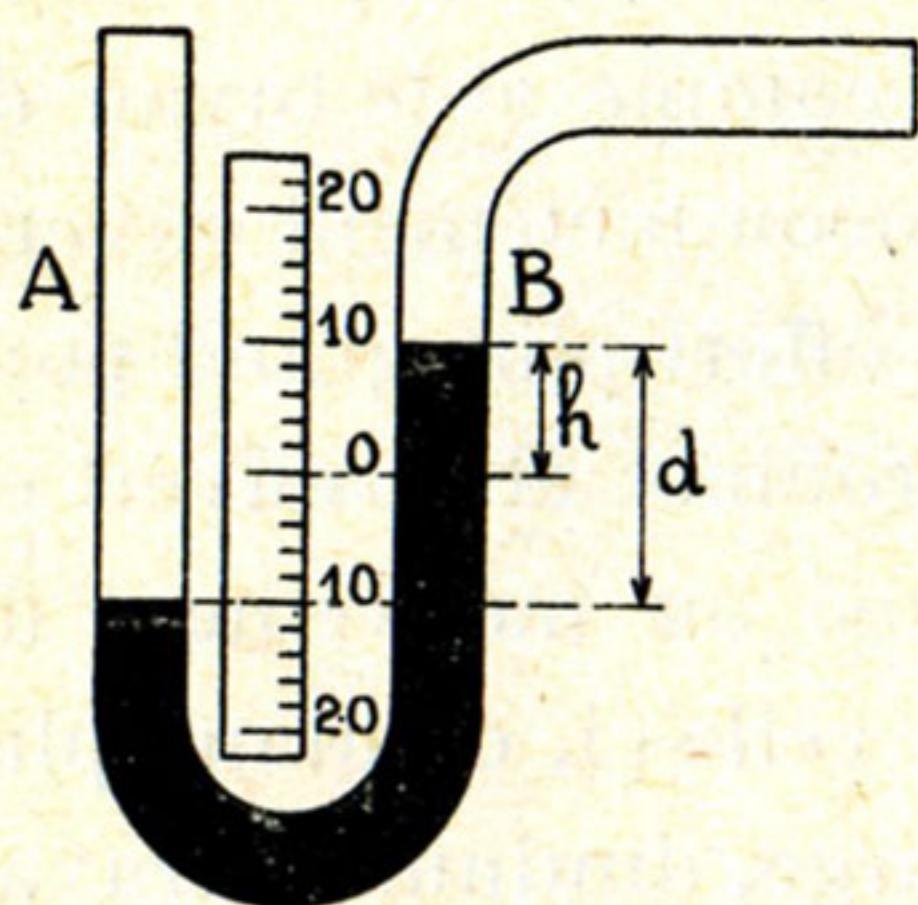
Fig. 571  
Mesure de la dépression  
dans la boîte à fumée.

1°) de la résistance que le combustible offre au passage de l'air; par conséquent : a) de la nature du combustible (menu, gailleteux, briquette); b) de l'épaisseur de la couche de combustible sur la grille;

2°) de la résistance que le faisceau tubulaire oppose à la circulation des gaz, conséquemment du diamètre, de la longueur et du nombre des tubes à fumée;

3°) de la quantité de charbon à brûler par heure, donc aussi des dimensions du foyer.

La dépression voulue s'obtiendra en donnant à la cheminée et au tuyau de décharge des dimensions respectives convenables, ainsi qu'en fixant judicieusement leur position relative. Il convient, pour que l'action du tirage se produise avec assez d'uniformité sur la grille, que l'orifice de décharge se trouve à un niveau déterminé et il importe que l'axe du tuyau de



décharge coïncide avec celui de la cheminée, afin que le jet de vapeur ne soit pas dévié.

La dépression varie ordinairement entre 100 et 300 mm d'eau.

Pour une même machine et un même combustible, la dépression et conséquemment le tirage varient essentiellement avec le poids de vapeur rejeté par seconde par l'échappement. Or, ce poids augmente quand la locomotive développe plus de puissance, le tirage se règle donc de lui-même suivant les besoins. L'on comprend dans ces conditions qu'on peut fixer une fois pour toutes les dimensions de l'orifice de décharge, c'est-à-dire adopter un échappement *fixe*.

Ce raisonnement suppose que chaque kilogramme de charbon brûlé vaporise toujours la même quantité d'eau ; or, il n'en est pas rigoureusement ainsi : quand la vaporisation est intense, le poids d'eau vaporisé par kilogramme de combustible est plus faible qu'à allure réduite.

On peut par conséquent, lorsque l'on vise à marcher normalement à différentes allures ou à utiliser des combustibles de différentes natures, être conduit à faire varier l'étranglement de la décharge.

On rencontre donc des locomotives avec orifice d'échappement fixe et d'autres avec orifice d'échappement variable.

**3. Théorie du tirage forcé.** — Des expériences récentes et notamment celles entreprises par l'ingénieur français *André Chapelon*, ont mis au point la théorie du tirage forcé.

Pour créer une dépression de  $h$  mm d'eau dans la boîte à fumée, il faut faire passer par la tuyère d'échappement une quantité déterminée de vapeur de  $q$  kg par seconde et, lorsque ce vide de  $h$  mm sera obtenu, il provoquera une allure de combustion sur la grille telle que la chaudière pourra produire une quantité de vapeur  $Q$  kg supérieure à la quantité de vapeur  $q$  exigée par l'échappement pour donner la dépression  $h$ .

Montrons cela sur une figure. Si nous marquons sur l'horizontale  $O h_m$  (fig. 572) les valeurs successivement croissantes

de la dépression  $h$  mm d'eau et si, pour chacune de ces valeurs, nous portons perpendiculairement des hauteurs exprimant les valeurs respectives de  $q$  d'abord et de  $Q$  ensuite, correspondant à ces valeurs de  $h$ , nous obtiendrons deux courbes n° 4 et n° 1 représentant, d'une part, la quantité

$q$  kg de vapeur passant par l'échappement et, d'autre part, la quantité  $Q$  kg de vapeur produite par la chaudière.

Nous voyons, par exemple, que pour créer une dépression de  $h_1$  mm d'eau dans la boîte à fumée, l'échappement *exigera* qu'une quantité de vapeur  $q_1$  kg passe par seconde à travers la tuyère et, lorsque ce vide  $h_1$  sera créé, il provoquera sur la grille une allure de combustion telle que la chaudière pourra produire une quantité de vapeur  $Q_1$  kg *supérieure*, comme nous le voyons, à la quantité de vapeur  $q_1$  kg nécessaire pour produire le tirage voulu.

Remarquons que, aussi longtemps que l'on ne prélève pas de vapeur à l'échappement, les quantités de vapeur  $q$  et  $Q$  sont égales puisque la quantité de vapeur produite  $Q$  par la chaudière s'écoule en totalité par la tuyère d'échappement.

D'autre part, puisque la quantité de vapeur *exigée* par l'échappement est *moindre* que la quantité de vapeur que la chaudière *peut* produire, il s'ensuit que *la vaporisation pourra être poussée progressivement sans qu'il soit nécessaire de modifier le réglage de la tuyère d'échappement*.

Les expériences ont encore montré que l'insuffisance de production de vapeur d'une chaudière peut très bien ne pas provenir d'une insuffisance de ses dimensions (surface de grille, par exemple), mais peut très bien avoir pour cause un dispositif d'échappement défectueux ou un dispositif convenable mais mal réglé.

Les expériences ont révélé que l'utilité des dispositifs

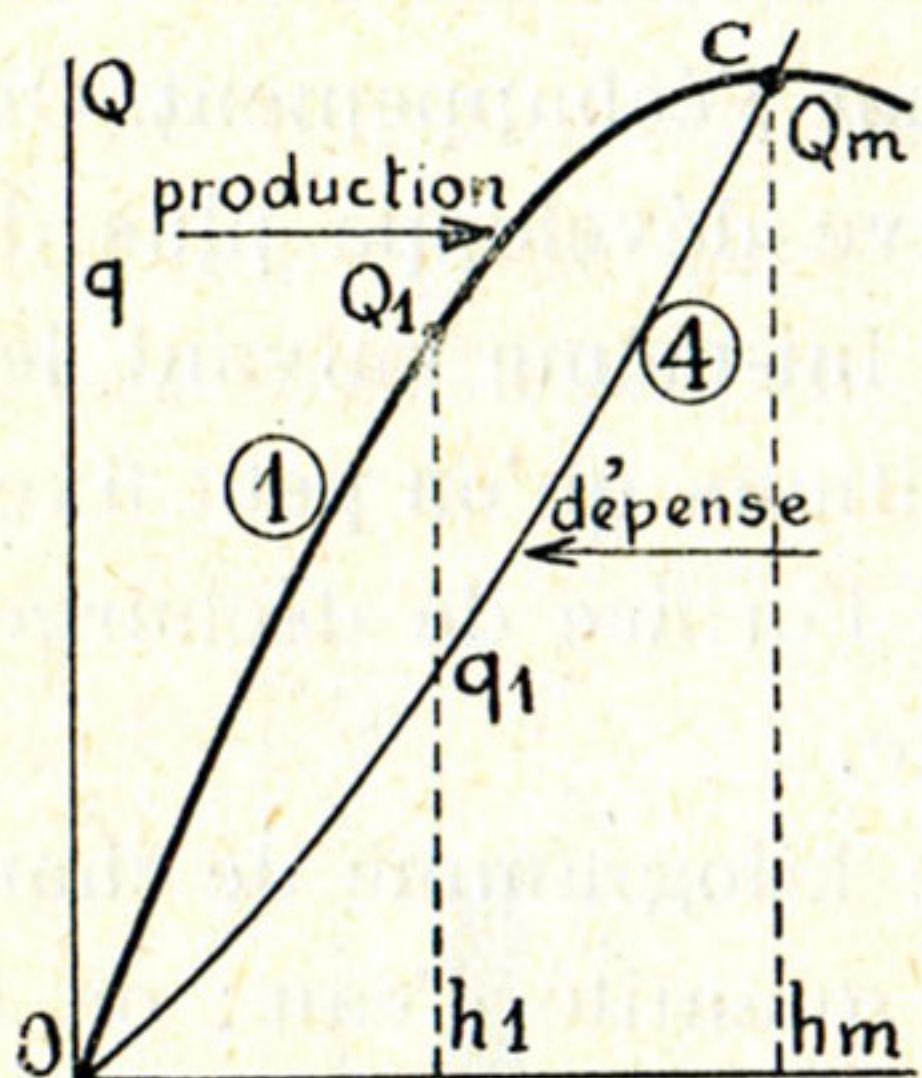


Fig. 572

d'échappement à *ouverture variable* est très restreinte et, une fois que l'on a réglé par expérience la section de tuyère qui donne une bonne vaporisation à toutes les allures, le machiniste n'éprouve pas le besoin de la modifier, tout au moins, aussi longtemps qu'il emploie le même charbon. Ce qui veut dire que, pratiquement, l'échappement variable devient, en fait, un échappement fixe.

*Influence sur le tirage d'un prélèvement de vapeur à l'échappement.* — Qu'en advient-il dans ce cas de la dépression, de la vaporisation, de la contre-pression et de la surchauffe éventuelle ?

Quand on prélève une certaine quantité de vapeur sur l'échappement, soit pour faire fonctionner un injecteur, soit pour réchauffer l'eau d'alimentation, la quantité de vapeur usagée qui sort par la tuyère est *moindre* que celle qui passe par les cylindres. Il s'ensuit que *la contre-pression sur les pistons est moindre* et, toutes choses égales, *la dépression est plus faible*.

Dans de telles conditions, l'on pourrait croire que la vaporisation sera moins facile et qu'il faudra resserrer l'échappement s'il est variable ou utiliser un échappement fixe approprié. Cela n'est pas certain parce que, par le réchauffage de l'eau d'alimentation, l'on introduit des calories dans la chaudière. On devra donc brûler moins de charbon et le tirage pourra être plus faible *sans* inconvénient. Il ne faudra pas nécessairement resserrer l'échappement.

Cependant, l'expérience montre que l'activité réduite de la combustion donnera lieu à une température de surchauffe légèrement inférieure.

En ce qui concerne la *contre-pression*, si le prélèvement de vapeur à l'échappement est de 15 %, par exemple, la quantité de vapeur qui passera par la tuyère ne sera plus que de 85 % de la quantité de vapeur qui aura passé par les cylindres.

Comme les contre-pressions sont approximativement proportionnelles aux carrés des débits de vapeur, les contre-pressions seront dans le rapport de  $1^2$  à  $0,85^2$ , c'est-à-dire

dans le rapport de 1 à 0,72, selon qu'il n'y aura pas ou qu'il y aura réchauffage de l'eau d'alimentation.

Nous en déduisons que si l'on marche à *faible allure* avec alimentation par injecteur ordinaire et que la contre-pression est, par exemple, de 100 grammes par  $\text{cm}^2$ , cette contre-pression tombera à 72 grammes par  $\text{cm}^2$  dans le cas du réchauffeur d'eau à vapeur d'échappement.

Mais si l'on marche à *forte allure* avec une contre-pression de 500 grammes par  $\text{cm}^2$ , par exemple, la contre-pression nouvelle sera de  $500 \times 0,72 = 360$  grammes par  $\text{cm}^2$ , soit un gain de 140 grammes par  $\text{cm}^2$ . Ce gain, dans le cas d'une machine de vitesse roulant à 140 km/h, équivaut à un gain de puissance de 80 à 100 chevaux.

*En conclusion*, outre l'économie de chaleur qu'il donne, le réchauffeur à vapeur d'échappement est intéressant sur les machines très poussées et à très grande vitesse, puisqu'il permet de réduire sérieusement la contre-pression à l'échappement.

**4. Echappement fixe.** — L'échappement fixe belge est représenté fig. 147 et 573, il se compose simplement de deux parties :

A) *Le tuyau d'échappement proprement dit A* (ou colonne d'échappement) en fonte, cylindrique ou légèrement conique, droit ou incurvé et fixé à demeure par des écrous à chapeau en bronze.

B) *La tuyère B* qui forme l'étranglement ; c'est une pièce conique, courte et légère, qu'on peut remplacer par une autre quand on veut modifier le tirage.

Presque toutes les locomotives belges sont munies d'un échappement fixe.

**5. Echappement variable.** — Les systèmes qui permettent

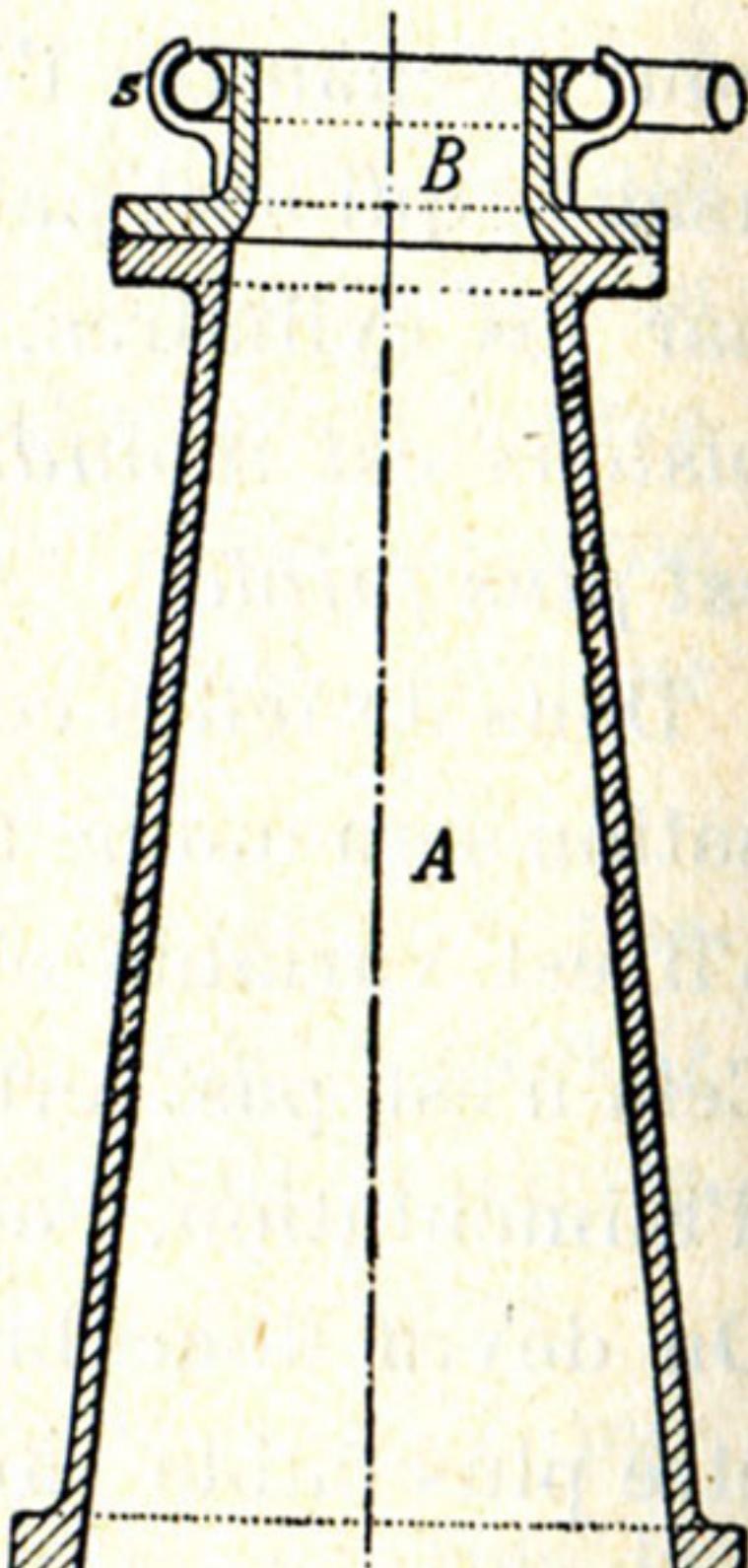


Fig. 573  
Echappement fixe.

de faire varier la section de l'orifice de décharge sont très nombreux.

Nous ne décrirons que *l'échappement variable à cône mobile*. Ce dispositif comporte une pièce conique annulaire représentée en noir (fig. 574-575) présentant intérieurement

Coupe A B

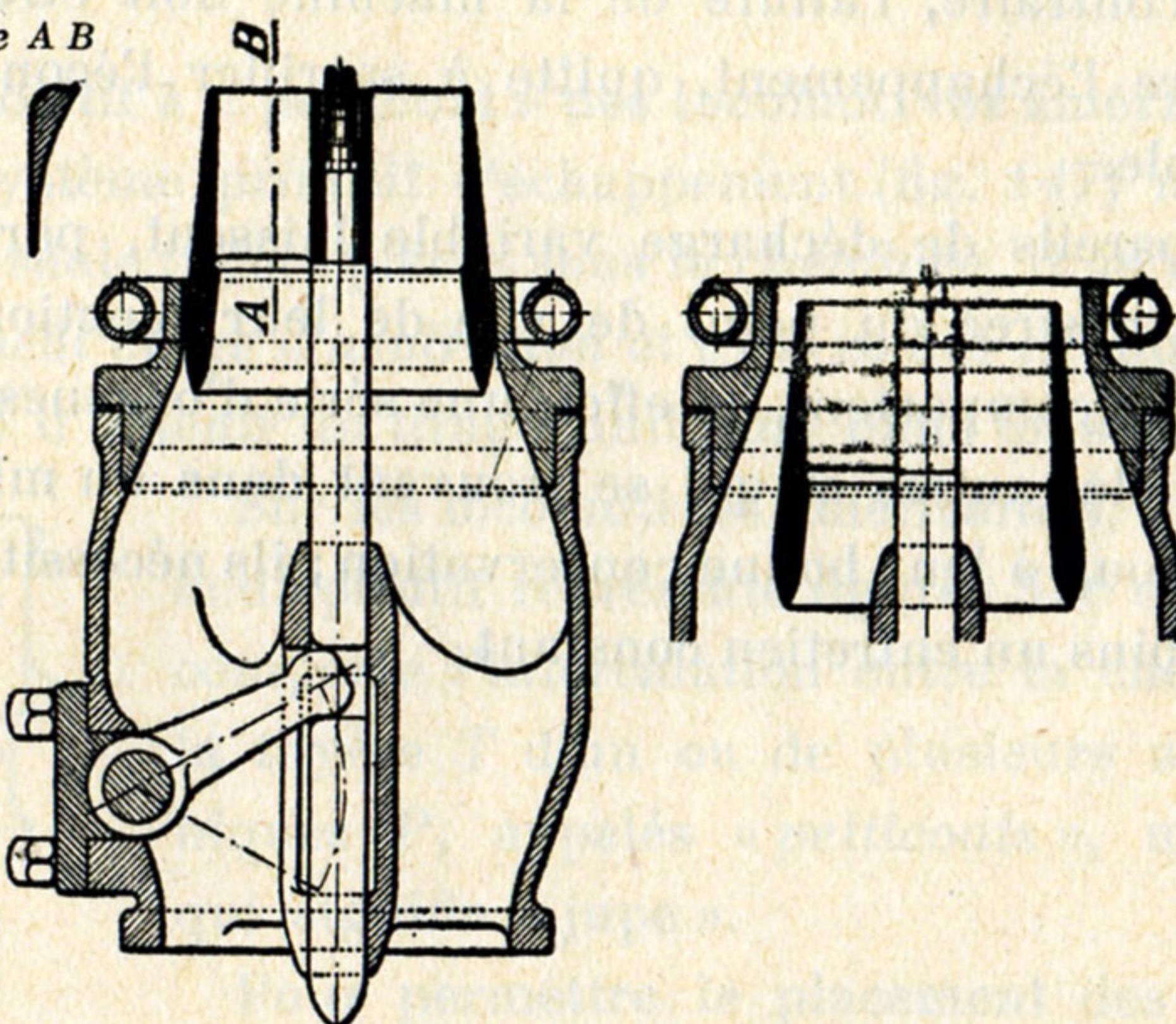


Fig. 574 et 575  
Echappement variable de la Compagnie du Nord.

trois ailettes radiales. Ce cône est porté par une tige centrale dont la hauteur peut être réglée à volonté au moyen d'un levier. Lorsque le cône est complètement levé (fig. 574), la vapeur ne peut s'écouler que par l'intérieur du cône. Lorsque le cône est abaissé (fig. 575), la section d'écoulement est notablement plus grande. A l'orifice intérieur du cône s'ajoute une section annulaire dont l'importance varie avec la position donnée au cône mobile.

Les trois ailettes radiales, qui se trouvent à l'intérieur du cône mobile, présentent une surface hélicoïdale (voir coupe A B) ce qui a pour effet d'accentuer l'épanouissement du jet.

Ce type d'échappement à cône mobile est employé sur beaucoup de locomotives françaises.

L'échappement variable est supérieur en principe à l'échappement fixe, parce qu'il permet seul d'adopter un régime de

marche normale approprié au travail à effectuer et au combustible utilisé.

Si la locomotive doit développer peu de puissance pour assurer son service, on ouvre l'échappement, ce qui est avantageux avons-nous vu pour le rendement de la machine.

Si, au contraire, l'allure de la machine doit être forcée, on resserre l'échappement, quitte à sacrifier l'économie de combustible.

Les appareils de décharge variable laissent, par contre, souvent à désirer du point de vue de leur fonctionnement pratique; ils comportent, en effet, une série d'organes frottant les uns sur les autres et qui se trouvent dans un milieu qui nuit beaucoup à leur bonne conservation; ils nécessitent donc pour le moins un entretien constant.

---

## CHAPITRE II

### SYSTÈMES MODERNES D'ÉCHAPPEMENT

#### Dispositif à « petticoat » des locomotives américaines.

Le système primitif d'échappement (fig. 147) ne comporte qu'une seule tuyère placée sous la cheminée, il ne réalise donc qu'un seul étage d'aspiration et c'est ce qui explique qu'il est difficile d'obtenir un tirage uniforme dans tous les tubes.

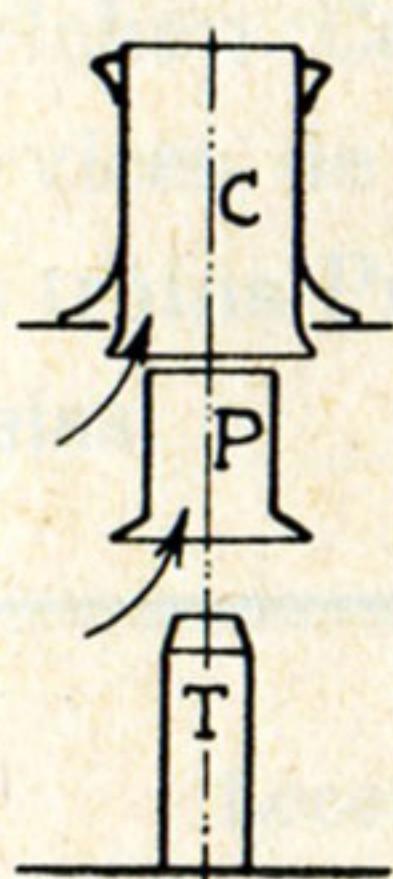


Fig. 576  
Petticoat

Sur les locomotives américaines, on rencontre le dispositif représenté figures 576 et 577 et qui comporte l'intercalation entre la cheminée *C* et la tuyère *T* d'un ou de plusieurs ajutages coniques *P*, appelés « *petticoats* », mot anglais qui signifie « jupe ».

Pour permettre le placement des *petticoats*, l'orifice de la tuyère est placé plus bas. Le jet de vapeur de décharge et les gaz chauds entraînés sont reçus dans le *petticoat* inférieur, celui-ci joue le rôle de tuyère par rapport au *petticoat* qui se trouve au-dessus de lui et ainsi de proche en proche jusqu'à la cheminée.

Dans le cas de la fig. 577, nous voyons qu'il y a 3 zones d'aspiration : 1, 2 et 3. Par suite de cet échelonnement, le mélange de la vapeur de décharge et des gaz aspirés se fait dans de meilleures conditions. Enfin, les gaz étant aspirés à des hauteurs différentes, la dépression se répartit plus également dans le faisceau tubulaire et l'uniformité du tirage sur toute l'étendue de la grille est mieux assurée.

Le fait d'avoir plusieurs étages d'aspiration est particulièrement intéressant lorsque les différentes parties du faisceau

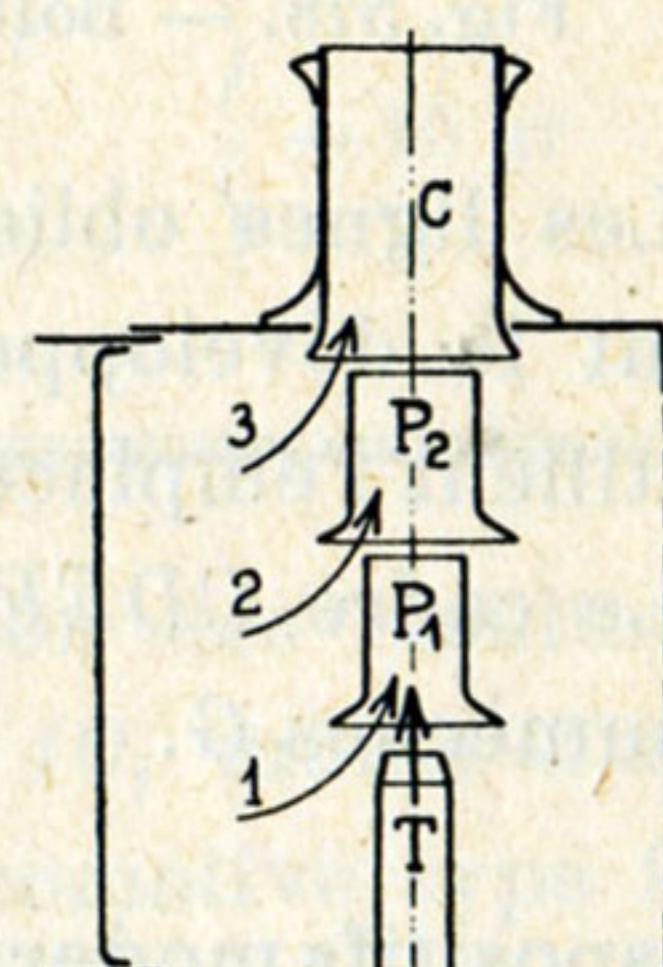


Fig. 577  
Petticoats

tubulaire présentent une résistance inégale au passage des gaz, c'est le cas, par exemple, avec les tubes surchauffeurs.

C'est une application de ces principes que nous retrouvons sur la locomotive Atlantic type 12 (fig. 578).

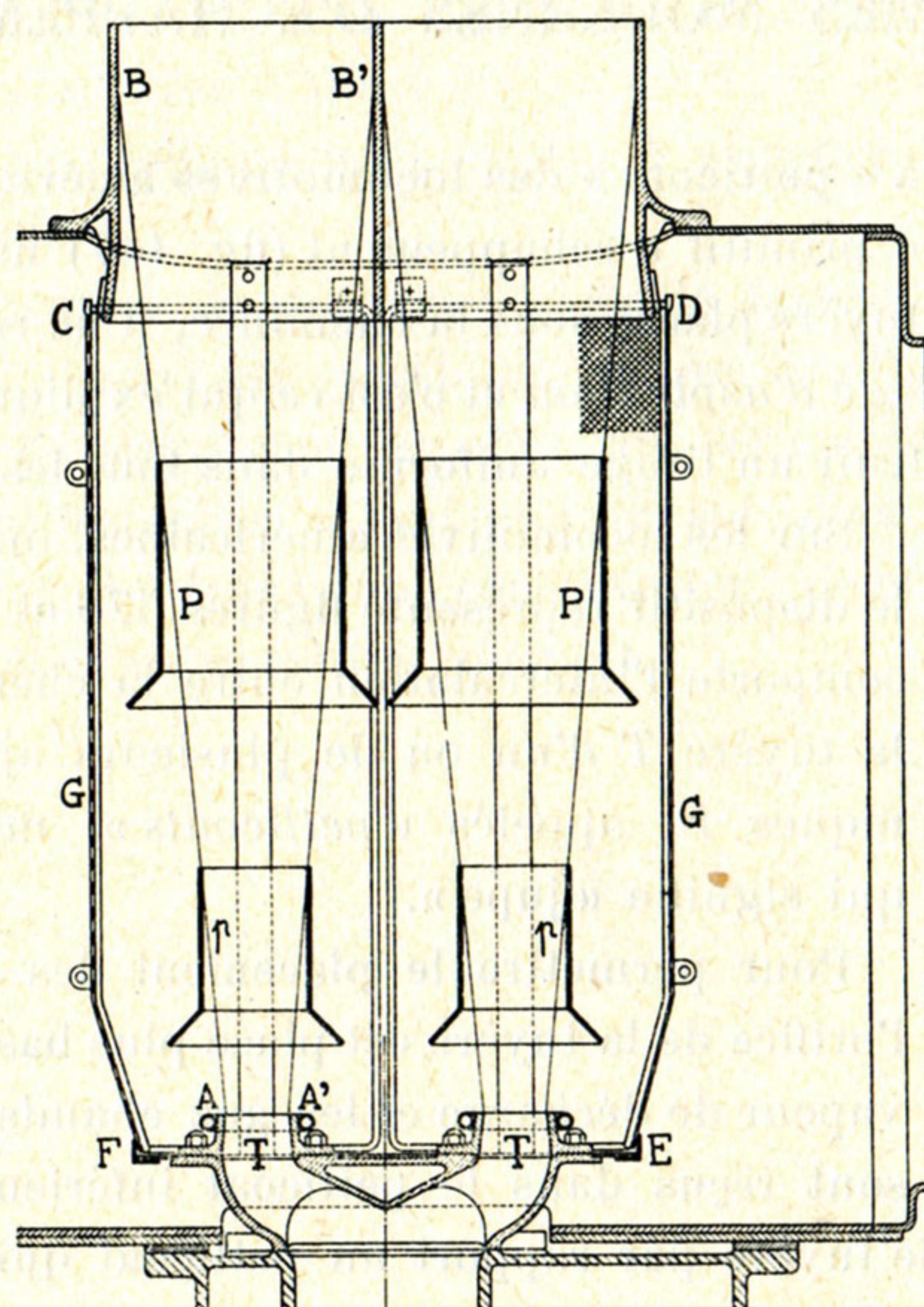


Fig. 578. — Boîte à fumée de la locomotive Atlantic type 12.

Les lignes obliques  $AB$ ,  $A'B'$  partant des tuyères, montrent le développement du cône de vapeur de décharge et justifient l'emplacement de chaque petticoat.

Le cadre  $CDEF$  sert de support à la grille à flammèches  $G$ .

#### Dispositifs modernes d'échappement.

1<sup>o</sup>) *Tuyères à jets multiples.* — L'ingénieur finlandais *Kylälä* a imaginé, en 1919, de placer immédiatement au-dessus de la tuyère de décharge un ajutage de forme spéciale

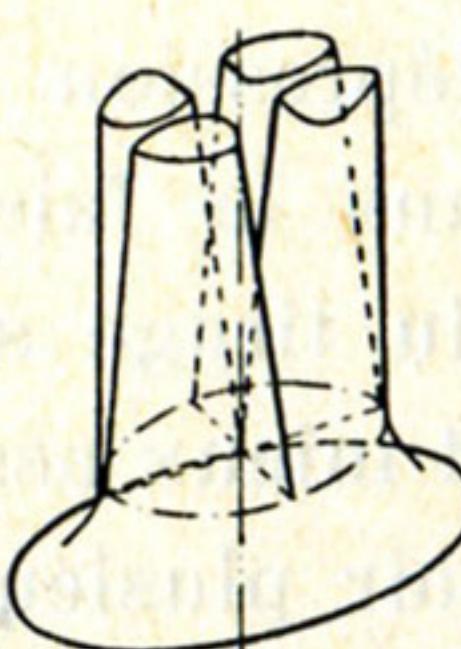


Fig. 579

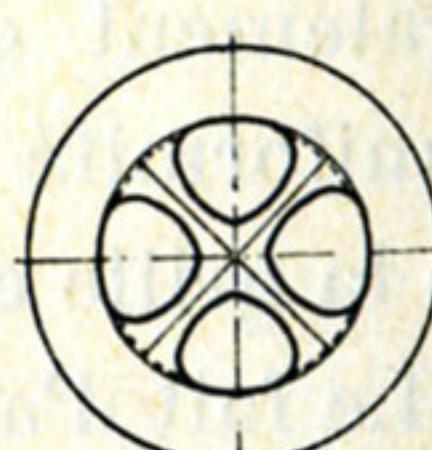
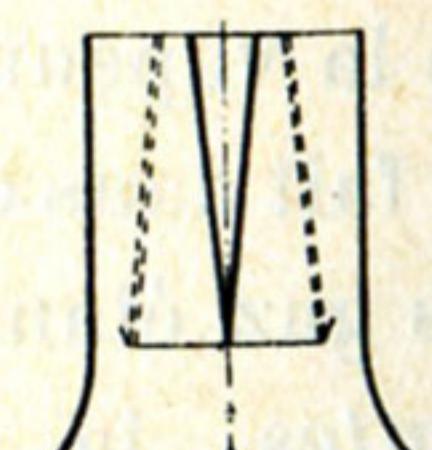


Fig. 580-581

(fig. 579 à 581), constitué de quatre tuyères s'amorçant sur une embase commune et dont la section transversale rappelle celle d'un trèfle à quatre feuilles.

La partie inférieure est évasée pour favoriser l'aspiration des gaz.

2°) *Echappement Kylchap*. — L'ingénieur français *Chapelon* a utilisé l'échappement Kylälä conjointement avec le *petticoat*, réalisant ainsi l'échappement *Kylchap*, rappelant les noms des deux inventeurs (fig. 582, 583).

En 1931, la locomotive type 9 (n° 908) du dépôt de Bruxelles-Nord de la S.N.C.B. a été munie d'un échappement Kylchap. Cette locomotive était incorporée dans une série de services de trains à marche rapide, comprenant notamment les trains Pulmann : Ostende-Cologne, Bruxelles-Calais, Edelweiss.

Locomotives	Dépression en mm d'eau	Contre-pression en grammes par cm <sup>2</sup>	Différences
Type 10 (échappement ordinaire)	150 mm	270 gr	} - 125 gr
Type 9 (échappement Kylchap)	150 mm	145 gr	
Type 10 (échappement ordinaire)	90 mm	140 gr	} - 65 gr
Type 9 (échappement Kylchap)	90 mm	75 gr	

Le tableau ci-dessus donne la comparaison des résultats obtenus avec une locomotive Pacific type 10, munie d'un échappement ordinaire d'une part et la locomotive type 9, pourvue de l'échappement Kylchap, d'autre part.

L'on voit que, pour une même dépression de 150 mm d'eau, la contre-pression sur les pistons à l'échappement est de 125 gr par cm<sup>2</sup> moindre pour la locomotive type 9. Or, cette différence représente une économie de 66 chevaux.

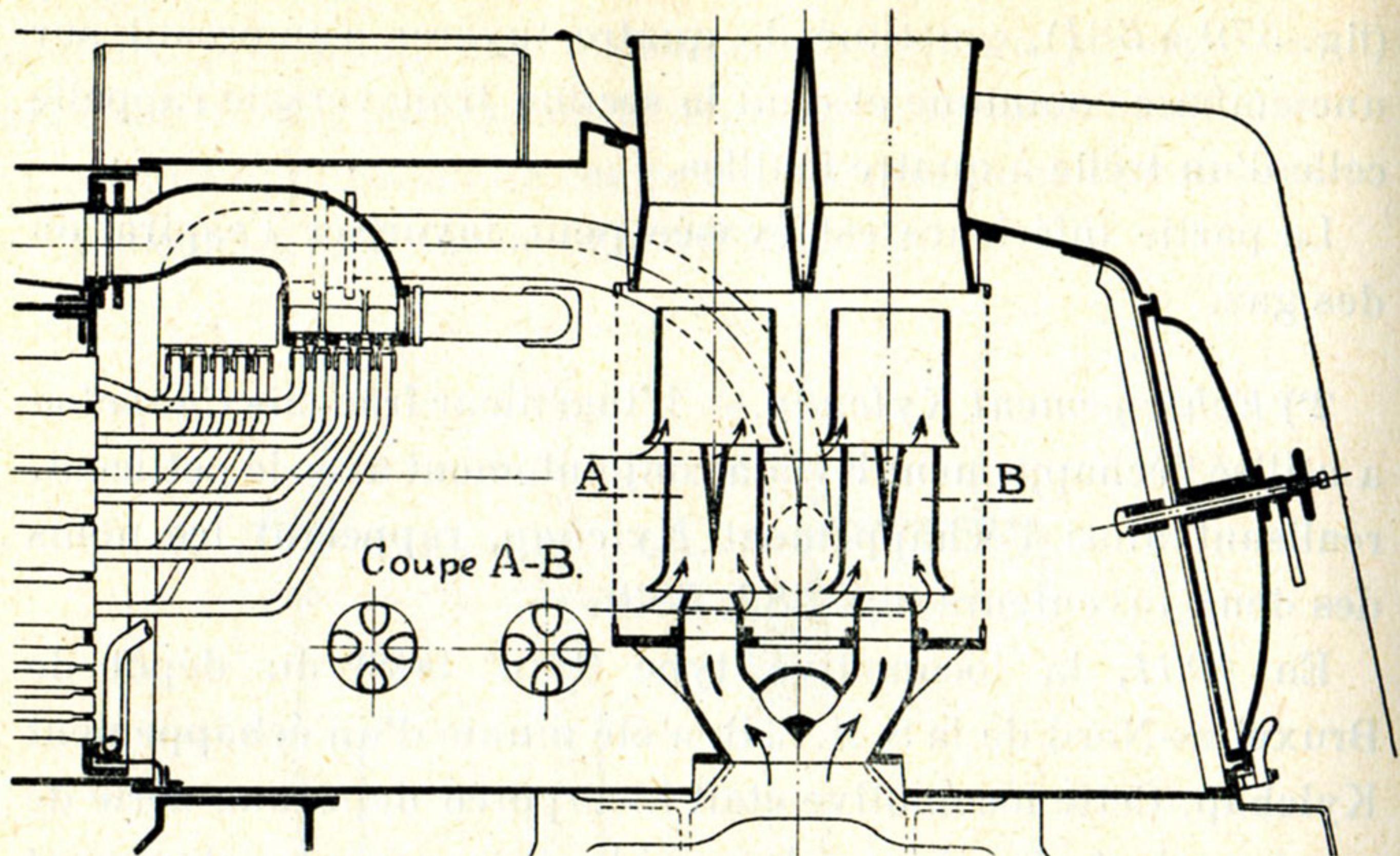


Fig. 582. — Locomotive type 1, double cheminée  
Echappement Kylchap.

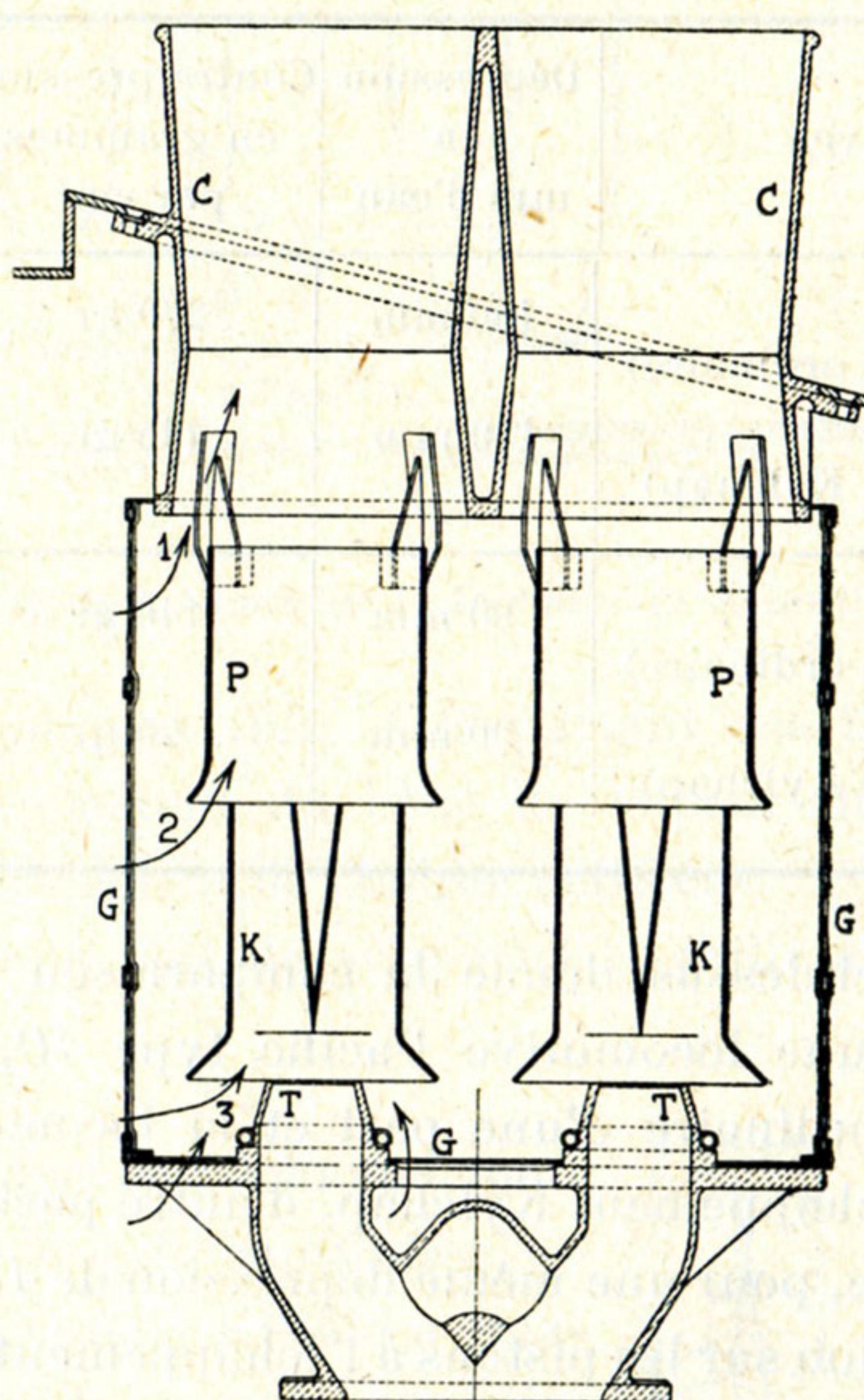


Fig. 583. — Boîte à fumée de la locomotive type 1.

Les locomotives devenant toujours plus puissantes, les dimensions des cylindres et de la chaudière se sont accrues, l'axe de la chaudière s'est relevé, mais comme le gabarit, lui, n'a pas changé, la cheminée qui autrefois surmontait la boîte à fumée, est aujourd'hui à peine apparente extérieurement (fig. 582).

*Principes de construction.* — Considérons une cheminée simple, montée dans l'axe de la tuyère de décharge (fig. 147 et 584).

L'expérience montre que le jet de vapeur prend une forme tronconique présentant une inclinaison de  $1/10$  (fig. 585).

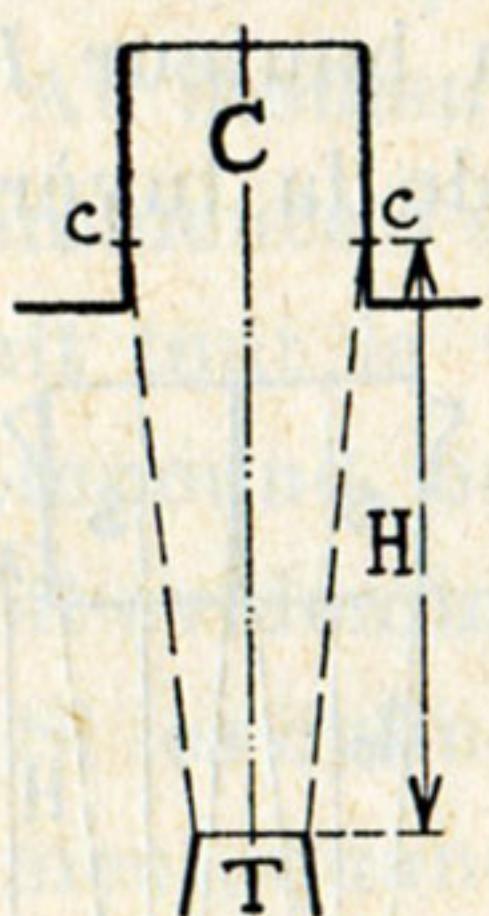


Fig. 584

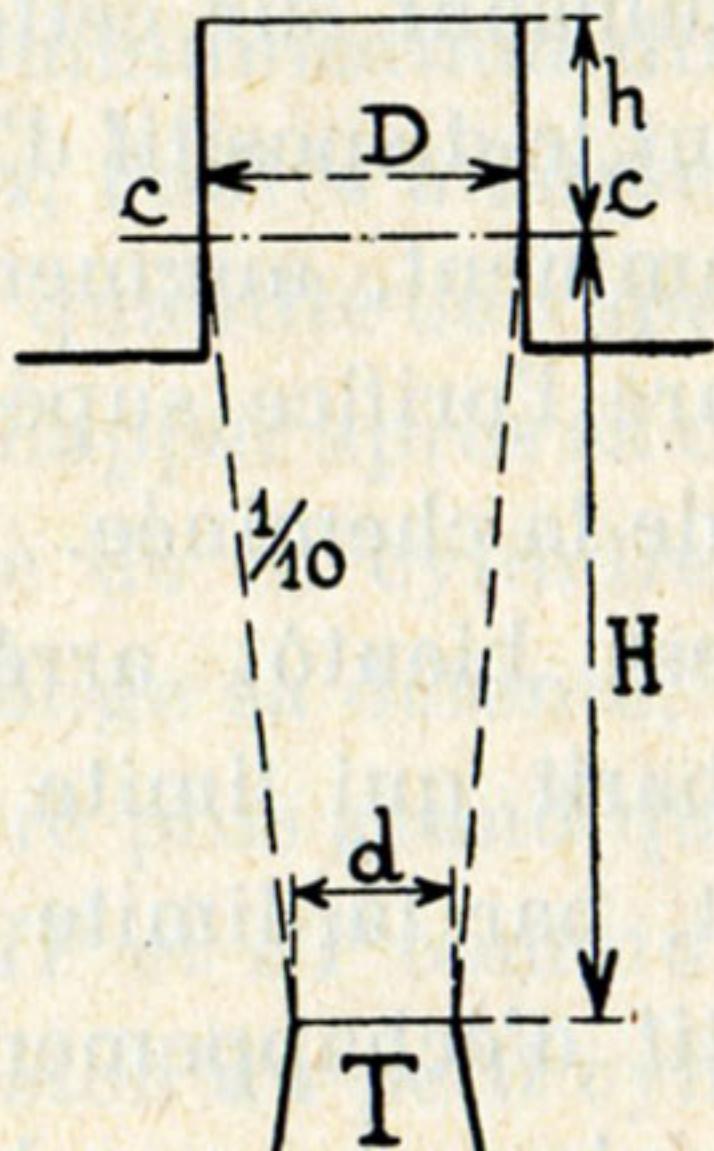


Fig. 585

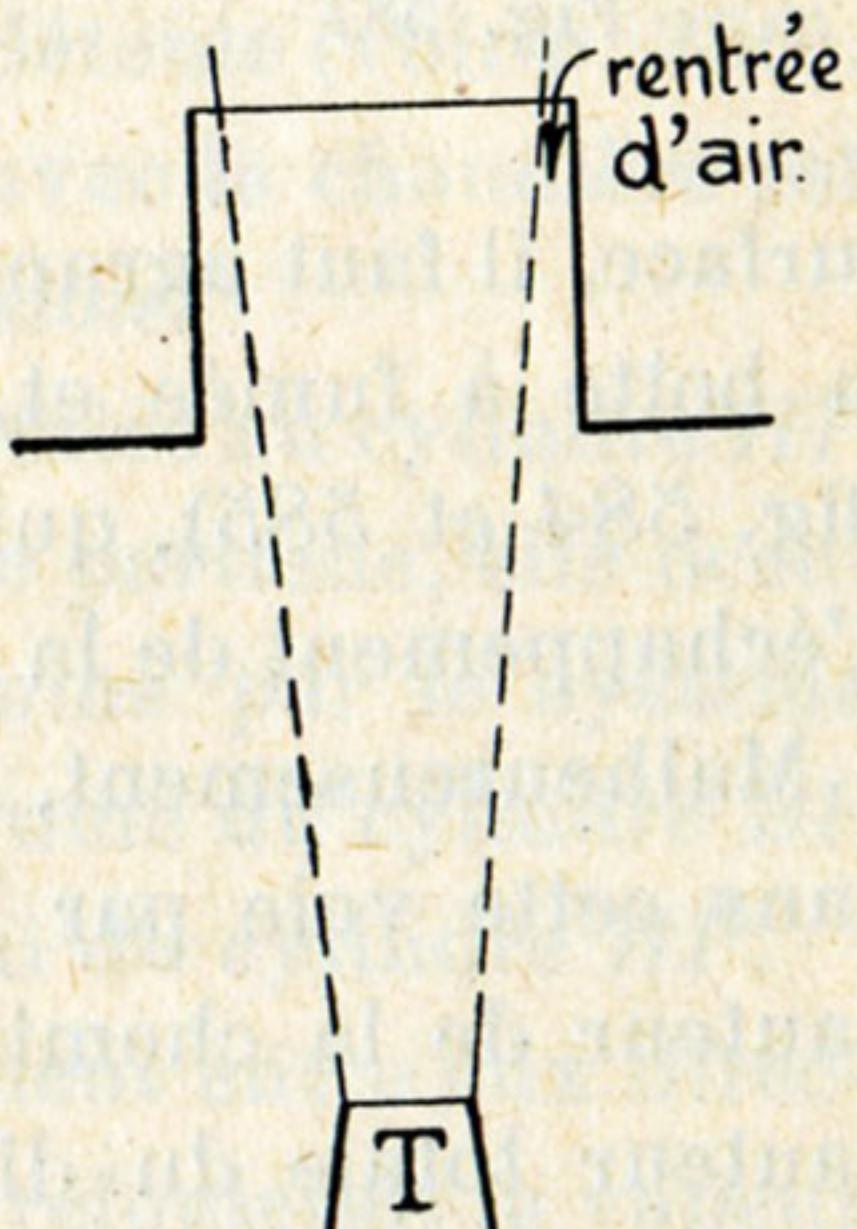


Fig. 586

Il a été constaté que le tirage augmente avec la hauteur de la cheminée, mais pas dans une forte proportion. *L'essentiel, c'est que le cône de vapeur touche les parois de la cheminée, et il est désirable que la cheminée ait une hauteur  $h$  égale au moins à son diamètre  $D$ , au-dessus de la circonference de contact  $c$ .*

Le contact doit se faire un peu *au-dessous* de l'orifice supérieur de la cheminée. Cette condition est indispensable pour permettre au jet de vapeur *de couper la communication* entre la boîte à fumée et l'atmosphère.

Si le diamètre  $D$  est trop grand (fig. 586), le jet passe à travers la cheminée sans toucher les parois et le tirage diminue

considérablement. En effet, l'air atmosphérique pénètre alors dans la boîte à fumée par l'espace annulaire ainsi formé, ce qui réduit considérablement la dépression.

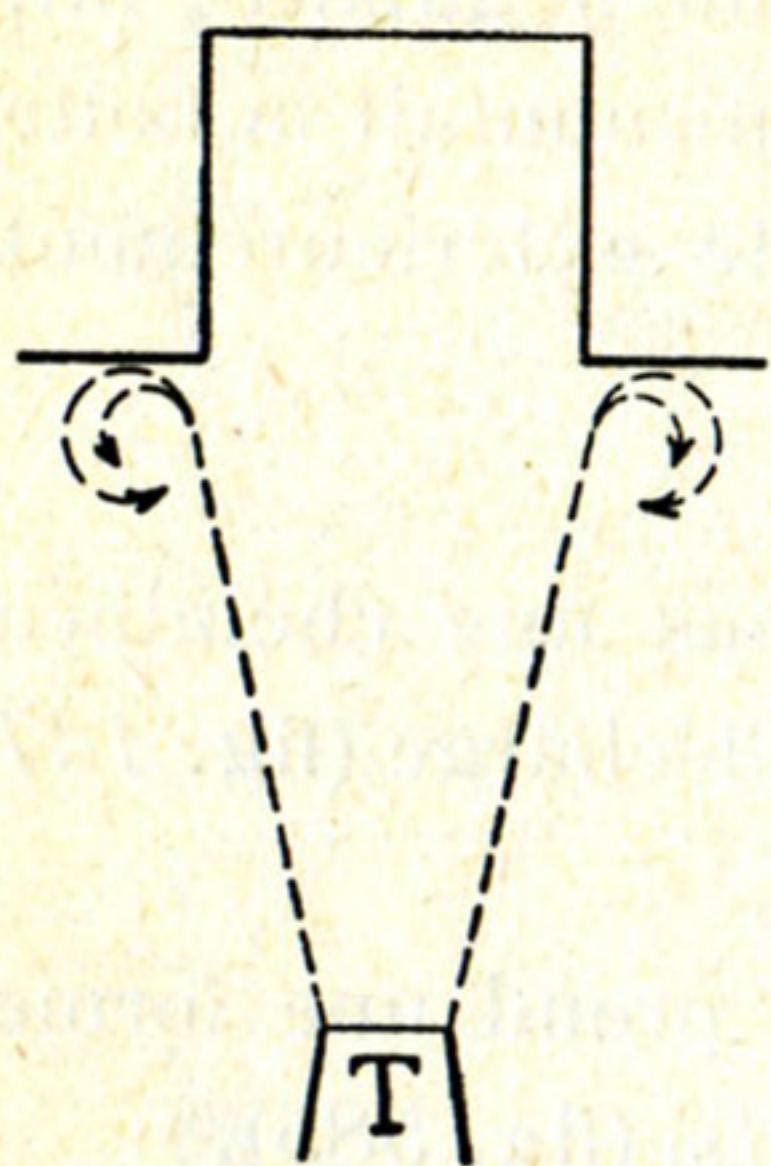


Fig. 587

Si d'autre part, le jet de vapeur venait rencontrer trop tôt la paroi de la cheminée, il en résulterait un effet de turbulence nuisible (fig. 587).

*Double cheminée.* — L'augmentation de la puissance des locomotives a entraîné l'augmentation de la surface de grille. Mais alors, pour que le tirage soit suffisant sur cette grille de grande surface, il faut agrandir tout le dispositif d'échappement dans la boîte à fumée et, notamment, augmenter la hauteur  $H$  (fig. 584 et 585), qui sépare l'orifice supérieur de la tuyère d'échappement de la base de la cheminée.

Malheureusement, on est bientôt arrêté dans cette voie par le gabarit qui limite la hauteur de la cheminée et, par là, limite la hauteur totale du dispositif d'échappement. On tourne la difficulté en employant *deux cheminées jumelles correspondant à une tuyère d'échappement également dédoublée* (fig. 588). On peut alors conserver les hauteurs usuelles tout en assurant un fonctionnement normal du tirage de la locomotive.

C'est en septembre 1933 que le système de la double cheminée a été appliqué pour la première fois par *F. Legein* à une locomotive Pacific type 10, de la S. N. C. B.

Il existe en Amérique des locomotives pourvues d'échappements quadruples.

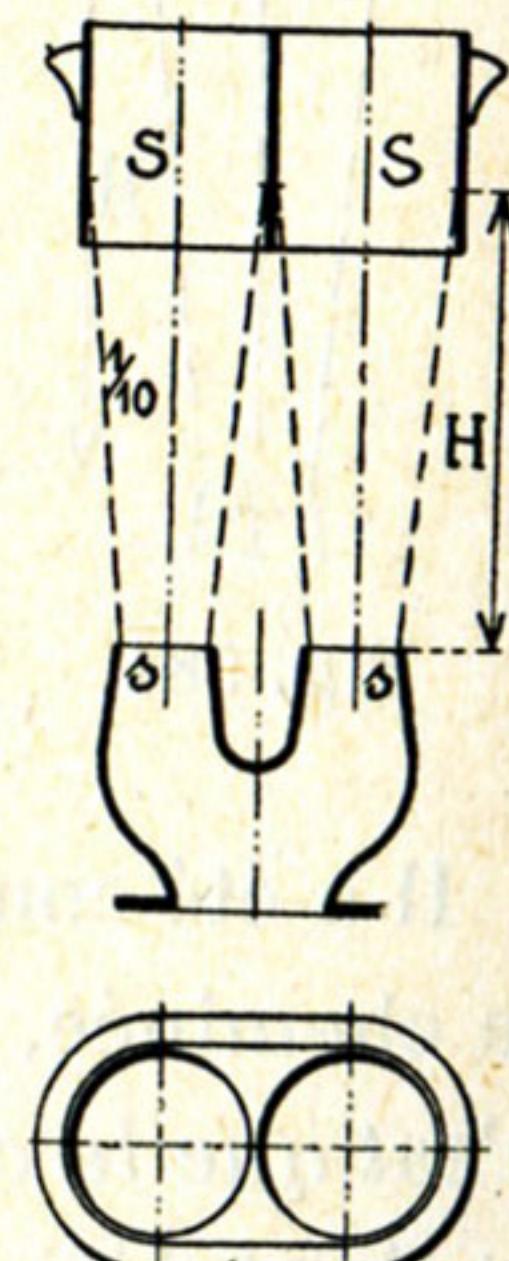


Fig. 588

### CHAPITRE III

## DISPOSITIFS SPÉCIAUX de démarrage et d'échappement des locomotives compound.

Nous savons que la locomotive compound se distingue de la machine à simple expansion par ce fait qu'un seul des deux cylindres (ou groupe de deux cylindres) reçoit la vapeur vive venant de la chaudière et que la vapeur d'échappement de ce cylindre au lieu d'être dirigée vers l'air extérieur est admise dans le second cylindre où elle achève sa détente (voir p. 256).

Le cylindre en communication directe avec la chaudière est dit à *haute pression*, l'autre à *basse pression*.

Au moment où la quantité de vapeur admise au cylindre *HP* commence à s'en échapper après sa détente partielle, elle occupe tout le volume de ce cylindre ; comme par le système compound, on prolonge sa détente, le volume du cylindre *BP* doit évidemment être plus grand que celui du cylindre *HP*.

Si les cylindres *HP* et *BP* communiquaient entre eux directement, quand le piston du petit cylindre refoulerait la vapeur d'échappement, le grand cylindre devrait être disposé pour l'admission, les pistons devant nécessairement être à fond de course en même temps ; en d'autres termes, les manivelles devraient passer en même temps au point mort. On réaliserait ainsi le fonctionnement Woolf. Mais dans la locomotive, les manivelles sont calées à angle droit pour rendre le démarrage possible dans toutes les positions, il faut donc qu'au sortir du petit cylindre, la vapeur soit emmagasinée en attendant que le grand soit disposé à l'admission. Le réservoir placé entre les deux cylindres en vue de cet emmagasinage est ce qu'on appelle le *réservoir intermédiaire ou receiver*.

Examinons comment les locomotives compound se comportent au *démarrage* et considérons tout d'abord une *compound à deux cylindres*.

De deux choses l'une, ou le petit cylindre est à l'admission ou son admission est fermée. Dans ce dernier cas, le petit cylindre ne reçoit pas de vapeur, le grand non plus, puisque la vapeur ne peut passer dans le grand cylindre qu'après avoir traversé le petit, la machine ne démarre pas.

Si l'admission est ouverte, mais que la manivelle du petit cylindre soit dans le voisinage du point mort, la machine ne démarre pas davantage.

Ces considérations montrent que pour assurer le démarrage dans tous les cas, il faut prévoir un dispositif spécial permettant d'envoyer dans le receiver ou, ce qui revient au même, puisque ces capacités communiquent entre elles, dans la chapelle du grand cylindre, de la vapeur venant directement de la chaudière. On se sert à cette fin d'une prise de vapeur spéciale, placée à portée du machiniste et dénommée *deuxième modérateur ou vanne de démarrage*.

La pression de la vapeur admise ainsi au receiver doit être réduite parce que le grand cylindre étant destiné à ne recevoir que de la vapeur à basse pression, ses organes sont calculés en conséquence. Un *manomètre* indique au machiniste la pression qui règne au receiver et une *soupape de sûreté* limite en outre la pression à un taux déterminé.

Pour ce qui est des locomotives *compound à quatre cylindres*, leurs deux cylindres *HP* ont les manivelles calées à 90°, ces machines pourront toujours démarrer, la vanne spéciale n'est donc pas indispensable, mais elle peut être utile pour faciliter les démarrages et accélérer la mise en vitesse.

**Echappement direct des locomotives compound.** — Lorsqu'on admet de la vapeur vive dans le réservoir intermédiaire, il n'y a plus de raison d'y envoyer encore de la vapeur d'échappement du petit cylindre, le receiver étant déjà rempli de vapeur dont la pression est sensiblement égale et pourrait même être supérieure à celle de la vapeur qui sort du petit cylindre. Il est donc logique d'appliquer aux machines compound un dispositif complémentaire permettant de diriger

la vapeur de décharge du petit cylindre *directement* dans l'atmosphère.

Cet échappement direct du petit cylindre procure un avantage important. L'effort moteur développé sur le piston *HP* est proportionnel à la différence des pressions qui s'exercent sur ses deux faces, c'est-à-dire à la différence entre la pression à la chaudière et la pression au receiver ; lorsqu'on envoie la vapeur de décharge du petit cylindre directement dans l'atmosphère, on diminue la contre-pression sur le petit piston, son effort moteur s'en trouve accru et le démarrage sensiblement amélioré.

Mais ce n'est pas là le seul avantage de l'échappement direct. Lorsque le machiniste provoque l'admission de vapeur vive au receiver et l'échappement direct du petit cylindre, il transforme sa locomotive compound en deux machines ordinaires à simple expansion indépendantes, de sorte que, dans le cas d'une compound à quatre cylindres tout au moins, il pourra donc, en cas d'avarie à la basse pression, isoler celle-ci et gagner le relais le plus proche en remorquant son train avec les cylindres *HP*. Si c'est la *HP* qui est avariée, il pourra marcher avec la *BP*.

Enfin, un troisième avantage — secondaire aussi longtemps que les lignes desservies sont de niveau, mais qui devient sensible sur les longues pentes — le fonctionnement à machines séparées donne à modérateur fermé une marche plus roulante.

Si l'on rencontre des locomotives compound non munies de l'échappement direct aux cylindres *HP*, c'est que certains constructeurs, mettant en balance les avantages ci-dessus avec la complication et les risques nouveaux de fuites et d'avaries inhérents à ce dispositif complémentaire, renoncent aux premiers, appréciant davantage la tranquillité que leur assure la simplicité.

Les systèmes imaginés pour réaliser l'échappement direct des cylindres *HP* sont nombreux, nous ne décrirons que le dispositif *de Glehn* appliqué aux locomotives compound à

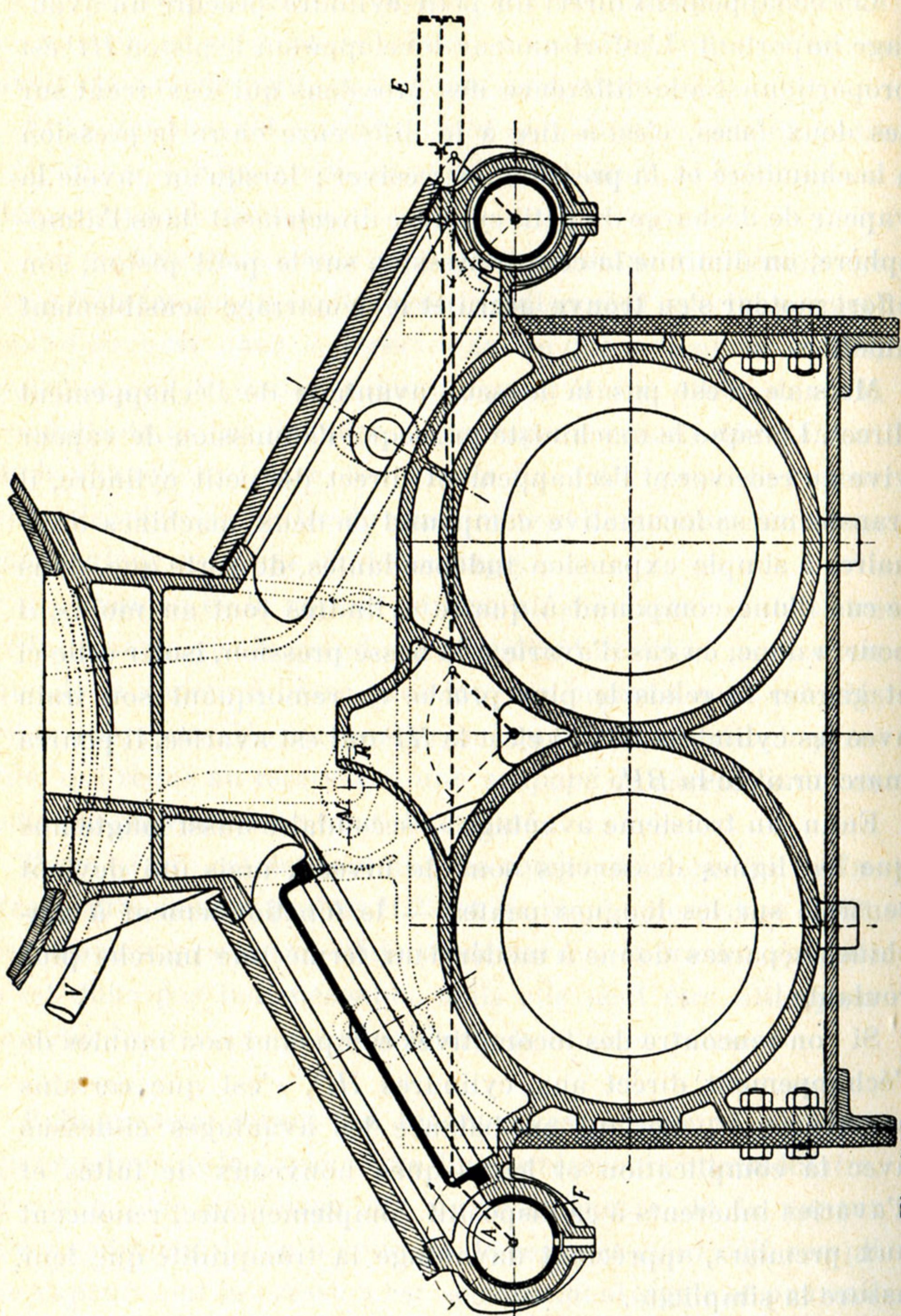


Fig. 589. — Echappement des locomotives compound, types 7, 8 et 33 de la S. N. C. B.

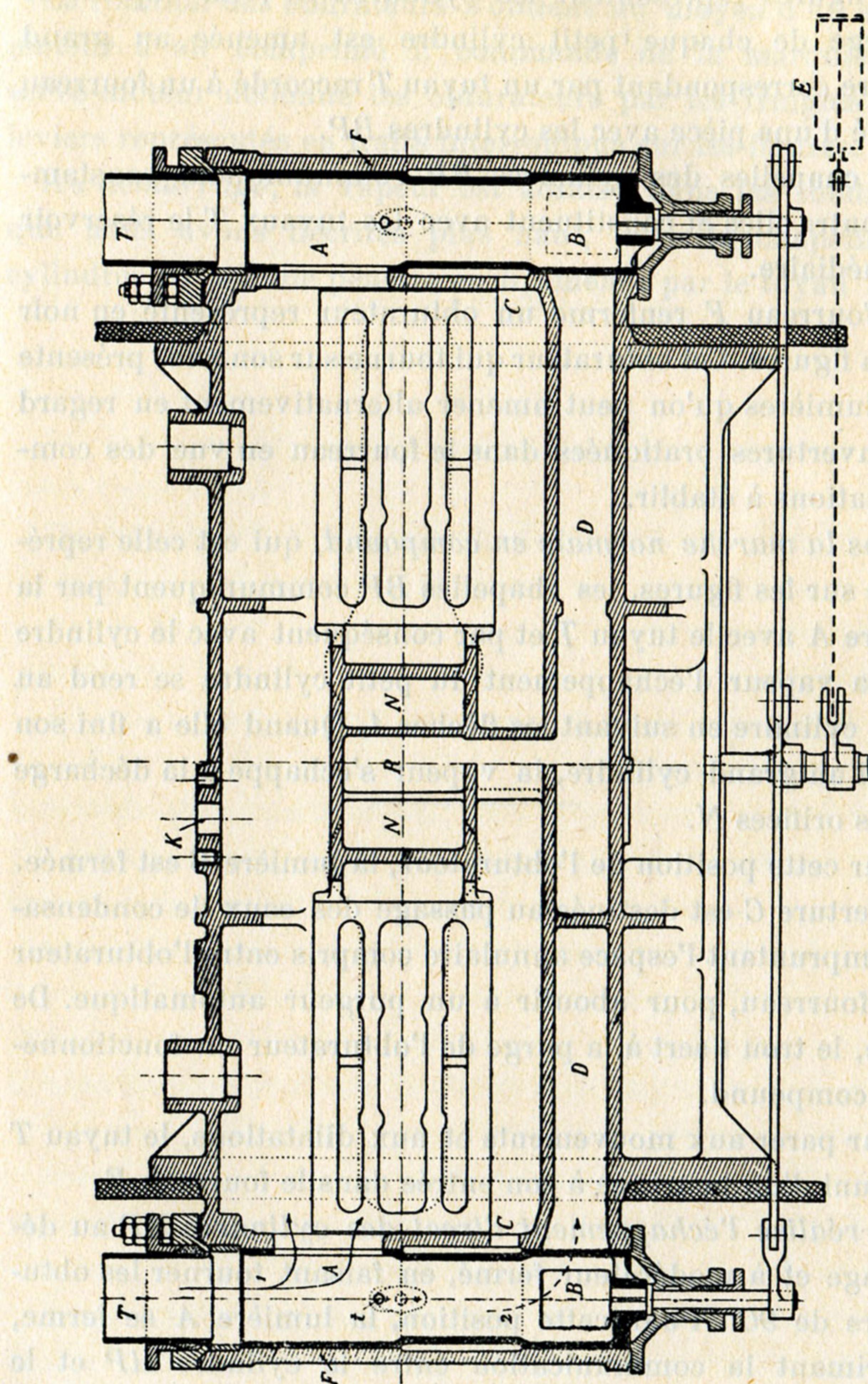


Fig. 590. — Echappement des locomotives compound, types 7, 8 et 33 de la S. N. C. B.

quatre cylindres types 7, 8 et 33 de la S. N. C. B. (fig. 589 et 590).

Ces figures représentent les cylindres *BP*. La vapeur de décharge de chaque petit cylindre est amenée au grand cylindre correspondant par un tuyau *T* raccordé à un fourreau *F* coulé d'une pièce avec les cylindres *BP*.

Les chapelles des cylindres *BP* communiquent constamment entre elles et constituent avec les tuyaux *T* le réservoir intermédiaire.

Le fourreau *F* renferme un obturateur représenté en noir sur les figures. Cet obturateur qui tourne sur son axe, présente deux lumières qu'on peut amener alternativement en regard des ouvertures pratiquées dans le fourreau en vue des communications à établir.

*Dans la marche normale en compound*, qui est celle représentée sur les figures, les chapelles *BP* communiquent par la lumière *A* avec le tuyau *T* et par conséquent avec le cylindre *HP*, la vapeur d'échappement du petit cylindre se rend au grand cylindre en suivant les flèches 1. Quand elle a fini son travail au grand cylindre, la vapeur s'échappe à la décharge par les orifices *N*.

Pour cette position de l'obturateur, la lumière *B* est fermée. L'ouverture *C* est destinée au passage des eaux de condensation empruntant l'espace annulaire compris entre l'obturateur et le fourreau, pour aboutir à un purgeur automatique. De même, le trou *t* sert à la purge de l'obturateur en fonctionnement compound.

Pour parer aux mouvements et aux dilatations, le tuyau *T* est muni d'un bourrage à son entrée dans le fourreau *F*.

*On réalise l'échappement direct des cylindres *HP** au démarrage et à modérateur fermé, en faisant tourner les obturateurs de 90°. Pour cette position, la lumière *A* se ferme, supprimant la communication entre le cylindre *HP* et le cylindre *BP*, tandis que la lumière *B* s'ouvre, permettant à la vapeur d'échappement du petit cylindre de se rendre directe-

ment à la décharge par le canal *D* et l'orifice central *R* (flèche 2).

La rotation des oburateurs s'obtient au moyen d'un servo-moteur à air comprimé *E* commandé de la marquise. Ce servo-moteur actionne les obturateurs par les tringles et les leviers représentés en traits interrompus sur les figures.

*Au démarrage, la vapeur est admise, dans les conditions que nous avons décrites plus haut, dans la chapelle des cylindres *BP* où elle pénètre en *K* amenée par le tuyau *V*.*